М. В. Антонов, Н. А. Акимова, Н. Ф. Котеленец

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ электрических МАШИН



М. В. Антонов, Н. А. Акимова,
Н. Ф. Котеленец

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ электрических МАШИН

Допущено
Государственным комитетом СССР
по народному образованию
в качестве учебного пособия
для студентов вузов,
обучающихся по специальности «Электромеханика»



Москва
«Высшая школа» 1989

ББК 31.26—04
А72
УДК 621.313

Рецензенты:

кафедра электрических машин Львовского ордена Ленина политехнического института им. Ленинского комсомола (зав. кафедрой проф. М. А. Яцун); кафедра электрических машин Харьковского ордена Ленина политехнического института им. В. И. Ленина (зав. кафедрой проф. В. А. Яковенко)

Антонов М. В и др.

А72 Эксплуатация и ремонт электрических машин: Учеб. пособие для спец. «Электромеханика» вузов/ М. В. Антонов, Н. А. Акимова, Н. Ф. Котеленец. — М.: Высш. шк. 1989. — 192 с.: ил.

ISBN 5-06-000107-5

В книге рассмотрены вопросы, связанные с хранением, правильным выбором, монтажем и техническим обслуживанием электрических машин и трансформаторов. Приведены организационные схемы и технологические процессы ремонта и модернизации электрических машин и трансформаторов.

А $\frac{2202000000(4309000000)-452}{001(01)-89}$ 162—89 **ББК 31.26—04** **6П2.1.081**

Учебное издание

Антонов Михаил Васильевич
Акимова Наталья Абрамовна
Котеленец Николай Федорович

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Зав. редакцией *Н. И. Хрусталева*. Редактор *Я. И. Гаврилов*. Мл. редактор *Е. В. Судьенкова*. Художественный редактор *В. И. Мешалкин*. Технический редактор *Г. А. Виноградова*. Корректор *В. В. Кожуткина*

ИБ № 7497

Изд. № СТД-598. Сдано в набор 10.04.89. Подп. в печать 27.07.89. Т-23770. Формат 60×88¹/₁₆. Бум. офс. № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Объем 11,76 усл. печ. л. 12,01 усл. кр.-отт. 12,37 уч.-изд. л. Тираж 30 000 экз. Зак. № 1344. Цена 45 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7.

ISBN 5-06-000107-5

ПРЕДИСЛОВИЕ

Качественный и своевременный ремонт и научная организация эксплуатации электрических машин позволяют обеспечить бесперебойную работу производственных механизмов в промышленности, сельском хозяйстве и на транспорте и сократить ежегодную потребность народного хозяйства страны в новых электрических машинах. Таким образом можно повысить экономическую эффективность использования электрических машин.

Проблема качественного ремонта и эксплуатации становится ясной, если учесть, что в промышленности на долю электродвигателей приходится около 70% всей энергетической мощности, в сельском хозяйстве — 25%. Доля электрифицированного транспорта в общем грузообороте страны составляет порядка 60%. Только парк асинхронных двигателей составляет свыше 100 млн. шт. при общей установленной мощности 450 млн. кВт. Ежегодно ремонтируется около 13 млн. двигателей, что соответствует количеству вновь выпускаемых двигателей в год. Аналогичная ситуация и с силовыми трансформаторами.

В высшей школе в соответствии с учебными планами 1983 г. впервые введен курс «Эксплуатация и ремонт электрических машин». Настоящая книга отражает опыт чтения лекций студентам-электромеханикам на кафедре электромеханики Московского энергетического института.

Книга состоит из трех разделов: первый посвящен вопросам эксплуатации электрических машин, второй — организации электроремонтного производства и капитальному ремонту электрических машин, третий — расчетам электрических машин при ремонте.

При написании книги материал между авторами распределился следующим образом: Н. А. Акимова — главы 3, 11, 12, 15, § 2.3, 5.3, М. В. Антонов — главы 6—10, Н. Ф. Котеленец — введение, главы 1, 2, 4, 5, 13, 14, а также общая редакция книги.

Отзывы и критические замечания просим направлять по адресу: *101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14, издательство «Высшая школа».*

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Научно-технический прогресс опирается на повышение производительности труда, технического уровня и качества продукции, на радикальное улучшение использования сырья, материалов, топлива и энергии. Исходя из этих положений и следует рассматривать вопросы эксплуатации и ремонта электрических машин и трансформаторов.

Качественный ремонт электрических машин может быть обеспечен только на специализированных предприятиях с высоким уровнем технологической дисциплины. Для повышения производительности труда на этих предприятиях должны применяться в основном те же технологические процессы, что и на заводе — изготовителе электрических машин

Несколько обособленно стоят вопросы ремонта крупных и уникальных электрических машин, включая турбо- и гидрогенераторы, крупные машины постоянного тока, синхронные и асинхронные двигатели большой мощности. В этом случае высокое качество ремонта обеспечивается за счет фирменного ремонта, осуществляемого силами предприятия-изготовителя. Это тем более необходимо, что ремонт таких машин обычно сопровождается их модернизацией, направленной на увеличение мощности генераторного оборудования, улучшение энергетических показателей двигателей и т. д.

В масштабах страны централизованно ремонтируются порядка 20—25% электрических машин. Остальную (основную) часть машин ремонтируют сами потребители, причем ремонт ведется по упрощенной технологии, с низкой производительностью труда и высокой себестоимостью.

Переход к централизованной системе ремонта на специализированных предприятиях позволит решить проблему снижения затрат, повышения качества ремонта и сокращения его сроков, высвободить для народного хозяйства значительные материальные и трудовые ресурсы.

Централизация ремонта решает и другие задачи, связанные с уменьшением количества электрических машин обменного фонда, подготовкой неремонтопригодных электрических машин для использования в качестве вторичных ресурсов черных и цветных

металлов и сокращением времени ремонта. Специализированные ремонтные предприятия должны размещаться по территориальному признаку, охватывая соответствующие экономические районы. Для проведения единой технической политики ведомственная подчиненность ремонтных предприятий должна соответствовать ведомственной подчиненности предприятий — изготовителей электрических машин.

На первом месте при определении целесообразности ремонта должно стоять качество ремонта, т. е. машина после капитального ремонта не должна уступать новой ни по энергетическим, ни по эксплуатационным показателям. Исключение может быть сделано только для импортных электрических машин, которые нельзя заменить соответствующими отечественными, а также в случае внезапного отказа при отсутствии в обменном фонде предприятия необходимой для замены электрической машины. Однако в этих случаях ремонт должен рассматриваться как временный выход из положения.

Важную роль в обеспечении надежности электрических машин и снижении затрат электроэнергии в народном хозяйстве играет эксплуатация электрических машин, куда включается хранение, выбор, монтаж и техническое обслуживание во время эксплуатации. По оценкам специалистов, оптимизация мощности и уровня использования электрических машин позволяет экономить до 20—25% потребляемой ими электроэнергии.

Так, практика применения электродвигателей показала, что потребители часто завышают или занижают мощность двигателей, неправильно выбирают их режим работы и конструктивное исполнение. Поэтому наряду с ремонтом в книге уделяется большое внимание вопросам рациональной организации эксплуатации электрических машин.

РАЗДЕЛ I.
ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

ГЛАВА 1
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА

Основная задача эксплуатации[1] — обеспечение работоспособности электрооборудования в течение установленного срока службы с наилучшими технико-экономическими показателями. Для выполнения этой задачи необходимо проводить плановое техническое обслуживание электрооборудования, что позволит своевременно выявлять и устранять причины, которые могут повлечь неисправность или отказ в работе.

§ 1.1. Хранение электрических машин

Электрическая машина с завода-изготовителя поступает к заказчику (на место установки) и с этого момента начинается ее эксплуатация. Как правило, перед установкой электрическая машина в течение определенного времени хранится в упаковке. Электрические машины на складах хранятся в легких (Л), средних (С), жестких (Ж) и особо жестких (ОЖ) условиях. В свою очередь, группа хранения Ж имеет три подгруппы, а группа хранения ОЖ — четыре. Условия хранения приведены в приложении 2. Общий срок хранения электрических машин в упаковке с учетом транспортировки не должен превышать 2 года в особо жестких условиях хранения, 3 года — в жестких, 5 лет — в легких и средних условиях хранения.

При размещении электрической машины на хранение упаковку вскрывают, проверяют сохранность консервации, которая в случае повреждения восстанавливается. Машины (или их части) массой до 500 кг при складировании размещают на стеллажах.

Различные типы электрических машин (и их частей) хранятся следующим образом:

синхронные машины и асинхронные двигатели с фазным ротором — в собранном виде по группе Л в районах умеренного климата и ЖЗ в районах тропического климата;

асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором — в собранном виде по группам С и ЖЗ;

[1] Основные понятия, характеризующие эксплуатацию электрических машин и трансформаторов, приведены в прилож. 1.

машины постоянного тока — в собранном виде по группам Л и Ж3;

статор и части статора машин переменного тока, магнитная система машин постоянного тока, кожухи и щиты, маховики и вентиляторы — по группам С и Ж3;

стояковые подшипники, роторы машин переменного тока, якори машин постоянного тока, аппараты, щиты и станции управления низкого напряжения, траверсы — по группам Л и Ж3;

фундаментные плиты — по группам Ж2 и ОЖ2.

Нарушение условий хранения может привести к повреждению отдельных узлов электрических машин и трансформаторов (коррозия металлических деталей, окисление контактных поверхностей и др.).

Масляные трансформаторы отправляются заводом-изготовителем высушенными и в зависимости от габаритов и массы либо полностью собранными и залитыми маслом, либо частично демонтированными (без расширителя), залитыми маслом ниже крышки с заполнением надмасляного пространства инертным газом или сухим воздухом, либо частично демонтированными в собственном баке без масла, заполненным инертным газом (азотом).

Крупные узлы и детали трансформатора (расширитель, выхлопная труба, каретки с катками, маслоочистительные и термосифонные фильтры и т. п.) транспортируются без упаковки, но надежно защищенными от попадания влаги во внутренние полости в процессе перевозки и хранения до монтажа на месте установки.

Вводы напряжением до 35 кВ, комплектующая аппаратура и приборы, насосы и электродвигатели, мелкие детали и узлы, крепеж и запасные части отправляют упакованными вместе с трансформатором. Маслонаполненные вводы напряжением 66—750 кВ транспортируют на место установки трансформатора в упаковке завода-изготовителя вводов. Сухие трансформаторы отправляются в упаковке, гарантирующей их сохранность от механических повреждений и непосредственного воздействия влаги при транспортировке и хранении.

После выгрузки с железнодорожной платформы или с транспортера (но не позднее чем через 10 дн после прибытия) проверяют состояние изоляции трансформатора и проводят его подготовку к монтажу или длительному хранению. При длительном нахождении активной части трансформатора без масла состояние изоляции ухудшается, восстановление характеристик которой требует выполнения трудоемких операций, значительного времени и материальных затрат. В связи с этим необходимо правильно организовать хранение трансформатора и его частей.

Уровень масла в расширителе трансформаторов, транспортируемых полностью залитыми маслом, должен находиться в пре-

делах контролируемого уровня по маслоуказателю. Пробивное напряжение масла в баке трансформатора должно быть не ниже 50 кВ/мм, тангенс угла потерь tg δ — не > 0,02 при 70°С (для масла марки ТК по ГОСТ 982—80). Пробивное напряжение масла в баке контактора устройства регулирования под нагрузкой (РПН) должно быть не ниже 45 кВ/мм, влагосодержание — не >0,0025%. При удовлетворительных результатах проверки масла трансформатор разрешается хранить до начала монтажа без ограничения срока.

У трансформаторов, не полностью залитых маслом, проверяется герметичность надмасляного пространства, пробивное напряжение, tg δ и влагосодержание масла, а также параметры масла в баке контактора устройства РПН. Характеристики должны соответствовать требованиям, предъявляемым к трансформаторам, полностью залитым маслом. При отсутствии избыточного давления или вакуума проверяется герметичность бака (при необходимости герметичность восстанавливается).

У трансформаторов, транспортируемых без масла, производят внешний осмотр, проверяют наличие избыточного давления внутри бака, пробивное напряжение, tg δ и влагосодержание остатков масла трансформатора (нормы аналогичны рассмотренным выше).

Если при проверке выявляются отклонения от норм, необходимо принять меры по устранению причин, приведших к ухудшению состояния изоляции, и ускорению монтажа трансформатора. Результаты проверки состояния изоляции учитываются при решении вопроса о возможности введения трансформатора в эксплуатацию.

Хранение трансформатора без масла или с маслом без расширителя допускается сроком не более 3 мес. со дня прибытия. При необходимости более длительного хранения бак трансформатора необходимо заполнить сухим маслом через нижнюю задвижку, создать в баке давление и соединить расширитель с окружающей средой через воздухоосушитель, заполненный силикагелем.

Трансформаторы тока должны храниться под навесом в собственных кожухах, герметически закрытых и залитых маслом. Комплектующая аппаратура, крепеж, специальный инструмент, вводы на напряжение 6—35 кВ хранят в заводской упаковке в закрытом сухом помещении.

Маслонаполненные вводы хранят в вертикальном положении и следят за отсутствием течи и нормальным уровнем масла по маслоуказательному стеклу.

Оборудование маслоохладителей обычно размещают под навесом на открытом воздухе, при этом охладители и термосифонный фильтр должны иметь заглушные патрубки. Вентиляторы с электродвигателями хранят в ящиках, обернутыми в водонепро-

ницаемую бумагу; электронасосы — в ящиках, заполненными на $^{3}/_{4}$ своего объема маслом с пробивным напряжением не ниже 30 кВ/мм, с обоими патрубками, закрытыми заглушками.

§ 1.2. Классификация помещений с электроустановками

По уровню напряжения различают установки до и свыше 1000 В, по расположению электроустановки делятся на открытые (наружные) и закрытые (внутренние). Установки, защищенные сетками или навесами, относятся к открытым.

Из-за возможности поражения людей электрическим током промышленные помещения с электроустановками разделяются на:

1) помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из следующих условий: сырости (относительная влажность более 70%) или токопроводящей пыли; токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных); высокой температуры (длительно превышает +30°С); возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлическим конструкциям здания, технологическим аппаратам и механизмам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования — с другой;

2) особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий: большой сырости (относительная влажность около 100%, стены помещения и предметы, находящиеся внутри него, покрыты влагой); химически активной среды, разрушающе действующей на изоляцию и токоведущие части электрооборудования; одновременно двух или более условий повышенной опасности по п. 1;

3) помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Помещения, предназначенные для монтажа и эксплуатации электрических машин, должны удовлетворять ряду требований. Так, расстояние между транспортируемым электрооборудованием и элементами здания должно быть не менее 0,3 м по вертикали и 0,5 м по горизонтали. Ширина проходов между машинами и элементами здания — не менее 1 м. Ширина прохода для обслуживания между машинами и щитами управления — не менее 2 м (при открытой дверце щита управления — не менее 0,6 м для установок напряжением до 1000 В).

Электрические машины устанавливаются таким образом, чтобы при их работе шум и вибрации машины, фундамента и здания не превышали допустимых пределов. Кроме того, в электромашинном помещении должны быть предусмотрены площади для ремонта и монтажа оборудования, а также необходимые грузоподъемные устройства.

§ 1.3. Критерии выбора электродвигателей и трансформаторов

При эксплуатации электрических машин достижение запланированных технико-экономических показателей связано с правильностью выбора электрических машин и трансформаторов.

Процедура выбора электродвигателей состоит в удовлетворении ряда требований потребителя и сводится к перебору возможных вариантов, в том числе: по роду тока, условиям пуска, конструктивному исполнению, уровню вибрации и шума, мощности и режиму работы.

Выбор по роду тока. Двигатели постоянного тока применяются лишь в тех случаях, когда двигатели переменного тока не обеспечивают требуемых характеристик механизма, либо не экономичны. Для механизмов с продолжительным режимом работы, с редкими включениями и малыми нагрузками при пуске наиболее целесообразен синхронный двигатель, обеспечивающий высокие энергетические показатели в процессе эксплуатации для всей электроустановки в целом. Напряжение сети должно быть равно номинальному напряжению двигателя.

Двигатели должны обеспечивать номинальную мощность при заданном диапазоне отклонения напряжения от номинального. Знание этого диапазона (имеется в стандартах и ТУ на соответствующие типы двигателей) особенно необходимо при выборе двигателей, работающих в автономных сетях, где мощность нагрузки соизмерима с мощностью сети.

Выбор по условиям пуска. В зависимости от условий пуска возможно применение либо основного исполнения, либо его модификаций. Основное исполнение серии 4 А — двигатели 4А, 4АН с короткозамкнутой обмоткой ротора применяют при легких условиях пуска (небольшой момент инерции механизма и момент сопротивления) и до двух пусков в час. При тяжелых условиях пуска следует применять модификацию с большим пусковым моментом типа 4АР, для частых пусков и реверсов при большом моменте инерции механизма предназначена модификация с повышенным скольжением типа 4АС. Для двух последних случаев могут применяться и двигатели с фазовым ротором типа 4АК.

Выбор по конструктивному исполнению. Возможные характеристики окружающей среды в части ее воздействия на электрические машины отражены в ГОСТ 15150—69, и в соответствии с этим установлено 10 климатических исполнений — У, УХЛ, ТВ, ТС, Т, О, М, ТМ, ОМ, В (У — климатические районы с умеренным климатом, УХЛ — с умеренным и холодным климатом, ТВ — с влажным тропическим, ТС — с сухим тропическим, Т — как с влажным, так и с сухим тропическим, О — все районы на суше; М — с умеренно холодным морским климатом, ТМ — с тропическим морским, ОМ — с умеренно холодным и тропическим мор-

ским, В — все районы на суше и на море) и пять категорий размещения — 1, 2, 3, 4, 5, которые отражены в условном обозначении электрической машины и трансформатора (см. прилож. 3, 4). При этом следует иметь в виду, что машины исполнений У, УХЛ, ТС, ТВ, Т предназначаются для эксплуатации в средах типов II и (или) I, машины исполнения О — в среде типа IV, исполнений М, ТМ, ОМ — в среде типа III, исполнения В — в средах типов III, IV. Классификация окружающей среды приведена в приложении 5.

Корпус машины вместе с подшипниковыми (торцевыми) щитами образует защитную оболочку, обеспечивающую защиту электрических машин от попадания внутрь твердых предметов и воды и защиту персонала от соприкосновения с токоведущими частями. Степени защиты нормируются в соответствии с ГОСТ 17494—72 *.

Электрические машины, устанавливаемые в помещениях, как правило, могут иметь исполнение IP00 или IP20. При установке на открытом воздухе — не менее IP44, при установке в сырых или особо сырых местах — не менее IP43 и соответствующую изоляцию.

Особое внимание следует обращать на выбор электрических машин для установок, расположенных во взрывоопасных и пожароопасных зонах. Классификация пожароопасных и взрывоопасных зон приведена в приложениях 6, 7. В пожароопасных зонах любого класса могут применяться электрические машины с напряжением до 10 кВ при условии, что их оболочки имеют степень защиты не менее IP44. Для взрывоопасных зон также могут применяться электрические машины с напряжением до 10 кВ, если их уровень защиты не менее указанного в приложении 8.

Способы охлаждения электрических машин нормируются ГОСТ 20459—75, в котором предусмотрено 16 способов охлаждения. Выбор способа охлаждения зависит в основном от категории размещения, условий окружающей среды и класса нагревостойкости (температурного индекса) изоляции машины.

В соответствии с ГОСТ 2479—79 предусмотрено девять конструктивных исполнений по способу монтажа. При выборе двигателя необходимо, чтобы его рабочее положение (горизонтальное, вертикальное, наклонное), способ крепления (к фундаменту, к производственному механизму и др.), исполнение выходного конца вала и их количество соответствовали одному из нормированных исполнений.

Выбор по уровню вибрации и шума. Электрические машины разбиты на пять классов по уровню шума и на семь — по уровню вибрации. На предельные уровни вибрации и шума накладывают ограничения режимы работы производственных механизмов и условия труда работающих на них людей. Так, повы-

шенный уровень вибрации снижает класс точности станочного оборудования, а повышенный уровень шума приводит к снижению производительности труда работающих.

Выбор по мощности и режиму работы. Если двигатель работает в неноминальных режимах, это приводит, как правило, к ухудшению его энергетических показателей, т. е. к завышенному потреблению электрической энергии при одинаковой полезной работе. Опасной для двигателя является перегрузка, так как при этом температура его частей может превысить допустимую, что приведет к его преждевременному выходу из строя. Поэтому одним из основных критериев выбора двигателя по мощности является температура (превышение температуры) обмоток.

Судить о температуре отдельных частей двигателя при известном характере процесса их нагрева позволяет его нагрузочная диаграмма (зависимость нагрузки от времени), по которой определяются отдельные потери. Такой подход позволяет так выбрать двигатель, чтобы максимальная температура обмоток не превышала длительно допустимую. Это условие является одним из основных для обеспечения надежной работы двигателя в течение всего срока эксплуатации. Вторым условием выбора является обеспечение устойчивой работы двигателя в периоды максимальной нагрузки или аварийного снижения напряжения.

Таким образом, для правильного выбора двигателя необходимо предварительно знать точную зависимость нагрузки от времени, на базе которой можно рассчитать потери в его отдельных частях. В результате последующего теплового расчета по методикам, изложенным в книгах по проектированию электрических машин, рассчитывается максимальная температура. Если $\vartheta_{макс} \leqslant \vartheta_{доп}$, то первое условие выполнено и двигатель проверяется по второму условию $M_{нг.\,макс} < M_{эл.\,магн.\,макс}$. В случае, если оба условия выполняются с запасом, следует проверить возможность выбора двигателя меньшей мощности.

В соответствии с ГОСТ 183—74* установлено восемь номинальных режимов работы двигателей S1—S8. Данные о расчетном номинальном режиме работы имеются на табличке и в паспорте двигателя. При необходимости использования двигателя на другой расчетный режим работы следует провести проверку выбора по мощности в последовательности, изложенной выше. Подробно методика выбора двигателей по мощности рассматривается в курсе электропривода и в соответствующих учебниках и справочниках [18].

Выбор числа и мощности трансформаторов. Число силовых повышающих трансформаторов, устанавливаемых на электростанции, определяется числом генераторов: в соответствии с нормами технологического проектирования генераторы мощностью 200 МВт и выше присоединяются к распределительному устройст-

ву высшего напряжения по блочной схеме — каждый через свой трансформатор и выключатель. При менее мощных генераторах применяются укрупненные блоки с присоединением двух генераторов к одному трансформатору.

На электростанциях небольшой мощности и ТЭЦ применяют схемы с распределительными устройствами генераторного напряжения, когда число трансформаторов может быть значительно меньше числа генераторов. При наличии на электростанции более двух распределительных устройств необходимо иметь также трансформаторы связи, что приводит к увеличению общего числа трансформаторов. Кроме того, на крупных электростанциях устанавливают мощные трансформаторы собственных нужд.

Мощность повышающих трансформаторов на электростанции должна обеспечить выдачу в сеть энергосистемы всей активной и реактивной мощности генератора за вычетом нагрузки собственных нужд. Подстанции напряжением 35 кВ и выше выполняются по соображениям надежности с двумя трансформаторами.

На подстанции мощность трансформаторов выбирается из условия, чтобы при отключении наиболее мощных из них оставшиеся в работе трансформаторы обеспечивали питание нагрузки с учетом допустимых перегрузок.

На электростанциях и подстанциях напряжением до 500 кВ, как правило, устанавливаются трехфазные трансформаторы. Только при отсутствии трехфазных трансформаторов необходимой мощности (либо при транспортных ограничениях) применяются группы однофазных трансформаторов или спаренные трехфазные трансформаторы половинной мощности.

§ 1.4. Классификация ремонтов

Важнейшим условием правильной эксплуатации электрических машин является своевременное проведение планово-предупредительных ремонтов (ППР) и периодических профилактических испытаний.

Наряду с повседневным уходом и осмотром электрических машин в соответствии с ППР через определенные промежутки времени проводят плановые профилактические осмотры, проверки (испытания) и различные виды ремонта. С помощью ППР электрические машины поддерживают в состоянии, обеспечивающем их нормальные технические параметры, частично предотвращают случаи отказов, улучшают технические параметры машин при плановых ремонтах в результате модернизации. В настоящее время используют два вида ремонта — текущий и капитальный, хотя для отдельных видов электрооборудования предусматривается и средний ремонт.

Период между двумя плановыми капитальными ремонтами называется *ремонтным циклом.* Для вновь вводимых в эксплуа-

тацию электрических машин ремонтный цикл — наработка от ввода в эксплуатацию до первого планового капитального ремонта.

Существуют три формы организации ремонтов — централизованная, децентрализованная, смешанная. При централизованной форме организации ремонт, испытание и наладка электрических машин производятся специализированными ремонтно-наладочными организациями. Эта форма является наиболее прогрессивной, так как обеспечивает минимальную стоимость ремонта при более высоком качестве.

При децентрализованной форме ремонт, испытания и наладка производятся ремонтными службами производственных подразделений предприятий. При смешанной — часть работ выполняется централизованно, часть децентрализованно, причем степень централизации зависит от характера предприятия, типа и мощности электрооборудования.

Усовершенствование централизованного ремонта предполагает создание централизованного обменного фонда электрических машин и расширение их номенклатуры, распространение сферы услуг ремонтных предприятий на производство текущих ремонтов и профилактического обслуживания.

Однако, поскольку специализированные ремонтные предприятия удовлетворяют потребности народного хозяйства в ремонте электрических двигателей лишь примерно на 20%, децентрализованная и смешанная системы организации ремонтов еще довольно долгое время будут оставаться преимущественными, несмотря на их недостатки по сравнению с централизованной формой организации ремонта.

Продолжительность ремонтного цикла определяется условиями эксплуатации, требованиями к показателям надежности, ремонтопригодностью, правилами технической эксплуатации, инструкциями завода-изготовителя. Обычно ремонтный цикл исчисляется в календарном времени исходя из восьмичасового рабочего дня при 41-часовой рабочей неделе. Реальная сменность работы оборудования и сезонность его работы учитываются соответствующими коэффициентами.

При определении продолжительности ремонтного цикла исходят из графика распределения отказов электрических машин, приведенного на рис. 1.1. На этом графике можно выделить три области: область *1* — послеремонтная приработка, когда вероятность отказов повышается за счет возможного применения при ремонте некачественных деталей и материалов, несоблюдения технологии ремонта и т. д.; область *2* — нормальный этап работы электрических машин с практически неизменной величиной отказов во времени; область *3* — старение отдельных узлов электрической машины, характеризующееся ростом числа отказов.

Из графика рис. 1.1 видно, что длительность ремонтного цик-

ла не должна превышать длительности нормального этапа работы *2*. При планировании структуры ремонтного цикла (виды и последовательность чередования плановых ремонтов) исходят из того, что в электрической машине наряду с быстро изнашивающимися деталями (щетки, подшипники качения, контактные кольца), восстановление которых производится путем их замены на новые или незначительным ремонтом старых, имеются детали с большим сроком износа (обмотки, механические детали, коллекторы), ремонт которых достаточно трудоемок и занимает много времени. Поэтому в течение наработки между капитальными ремонтами ($T_{пл}$) электрические машины должны пройти несколько более легких текущих ремонтов с интервалом $t_{пл}$.

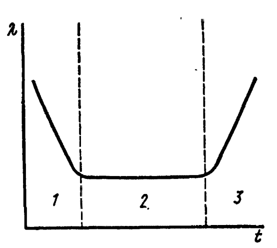


Рис. 1.1. График интенсивности отказов электрических машин в процессе эксплуатации

Производство текущих ремонтов, как правило, не нарушает ритм производства, в то время как капитальный ремонт при отсутствии резерва связан с приостановкой производства (технологического процесса). Поэтому межремонтный период для электрических машин следует приравнивать к межремонтному периоду основного технологического оборудования, если последний оказывается меньшим.

Продолжительность рабочего ($T_{табл}$) и структура ремонтного циклов, а также продолжительность межремонтного периода ($t_{табл}$) определяются исходя из нормальных условий эксплуатации при двухсменной работе по данным, приведенным в прилож. 9. Для коллекторных машин постоянного и переменного тока приведенная в прилож. 9 продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода уменьшается путем введения коэффициента $\beta_к = 0{,}75$.

Величины T и t зависят также от сменности работы электрических машин, коэффициента использования, характера работы (передвижные или стационарные установки, основное или вспомогательное оборудование).

Плановая продолжительность ремонтного цикла $T_{пл}$ и межремонтного периода $t_{пл}$ определяется по формулам

$$T_{пл} = T_{табл}\beta_к\beta_р\beta_и\beta_о\beta_с,$$
$$t_{пл} = t_{табл}\beta_к\beta_р\beta_и\beta_о'\beta_с. \qquad (1.1)$$

Здесь $T_{табл}$, $t_{табл}$ — по данным прилож. 9; $\beta_к = 0{,}75$ для коллекторных машин, $\beta_к = 1$ — для остальных машин; $\beta_р$ — коэффи-

циент, определяемый сменностью работы оборудования $K_{см}$; $\beta_и$ — коэффициент использования, определяемый в зависимости от отношения фактического коэффициента спроса $K_{ф.с}$ к $K_с$; $\beta_о=0{,}85$, $\beta_о'=0{,}7$ — коэффициенты, учитывающие, что машины отнесены к основному оборудованию, для машин вспомогательного оборудования $\beta_о=\beta_о'=1{,}0$; $\beta_с=0{,}6$ — коэффициент, учитывающий, что электрические машины работают на передвижной установке (для стационарных установок $\beta_с=1{,}0$).

Определение коэффициентов для расчета плановых ремонтов

$K_{ф.с}/K_с$	0,5	0,75	1,0	1,1	1,2	1,3	
$\beta_и$	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	
$K_{см}$	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3,0
$\beta_р$	2	1,6	1,35	1,13	1	0,8	0,67

Пример. Определить продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода для асинхронного рольгангового двигателя типа АР при трехсменной работе и фактическом коэффициенте спроса $K_{ф.с}=0{,}6$.

По прилож. 9 находим, что $T_{табл}=4$ года, $t_{табл}=6$ мес при $K_с=0{,}45$ и определяем $\beta_р=0{,}75$, $\beta_н=0{,}7$ (для $K_{ф.с}/K_с=0{,}6/0{,}45=1{,}33$). Установка стационарная $\beta_с=1{,}0$, оборудование основное — $\beta_о=0{,}85$; $\beta'_о=0{,}7$. Тогда в соответствии с формулами (1.4) получим

$$T_{пл}=4{,}0\cdot1{,}0\cdot0{,}75\cdot0{,}7\cdot0{,}85\cdot1{,}0=1{,}785 \text{ года},$$

$$t_{пл}=6{,}0\cdot1{,}0\cdot0{,}75\cdot0{,}7\cdot0{,}7\cdot1{,}0=2{,}2 \text{ мес}.$$

Таким образом, продолжительность ремонтного цикла составляет 22 мес, а межремонтного периода — 2,2 мес. Иными словами, между двумя капитальными ремонтами должно проводиться девять текущих.

Обычно ремонты планируют на один год с разбивкой по кварталам и месяцам. Такое планирование называется текущим. Наряду с текущим осуществляется и оперативное планирование с использованием широко известных сетевых графиков.

Различают два метода ремонта электрических машин — принудительный и послеосмотровый.

Принудительный метод ремонта применяется главным образом для особо ответственных машин. При использовании этого метода через определенные периоды времени машины в обязательном порядке подвергают капитальному ремонту с заменой обмоток. Также через строго определенные промежутки времени проводят текущий и средний ремонты в соответствии с ремонтным циклом и его структурой. При принудительном методе ремонта ресурс электрической машины не всегда бывает использован полностью; перемотке может быть подвергнута машина, которая могла бы работать без замены обмотки еще длительное время. Поэтому принудительный ремонт наиболее дорогой.

Послеосмотровый метод ремонтов. При использовании этого метода капитальные ремонты планируются после осмотра и про-

филактических испытаний во время очередной ревизии или текущего ремонта. Если неисправностей при этом не обнаруживается, то машину включают в график ремонтов на следующий год. Ресурс машины при этом методе ремонта используется полностью, поэтому стоимость ремонтов снижается. Однако из-за внезапных отказов и возможности внеочередного ремонта усложняется организация проведения самого ремонта.

Для электрических машин массового применения, не отнесенных к основному оборудованию и имеющих достаточный резерв (обменный парк), можно перейти от принудительного ремонта к послеосмотровому. Целесообразность такого перехода должна подтверждаться технико-экономическим анализом.

Контрольные вопросы

1. Каковы основное содержание и задачи эксплуатации электрических машин?
2. Назовите условия хранения электрических машин. Каковы основные отличия в условиях хранения?
3. Как измеряется допустимый уровень масла в трансформаторе и чем он определяется?
4. Какие параметры трансформатора контролируются перед началом хранения и монтажом?
5. Чем характеризуется опасность для человека помещений с электрическими установками? Какова классификация этих помещений?
6. Каковы критерии выбора электрических двигателей?
7. Объясните, как в марке электрической машины или трансформатора отражено их климатическое исполнение? Машины каких климатических исполнений можно эксплуатировать во всех макроклиматических районах Земли? Во всех районах на суше?
8. Каковы условия правильного выбора электрических двигателей по мощности?
9. Из каких соображений выбирается количество параллельно работающих трансформаторов и их мощность?
10. Что такое «ремонтный цикл» и как выбирается его продолжительность?
11. Какова структура ремонтного цикла?
12. В чем достоинства и недостатки форм организации ремонтов?

ГЛАВА 2
МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Монтаж электрических машин и трансформаторов выполняется в соответствии с требованиями Строительных норм и правил (СНиП), Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и монтажных инструкций заводов-изготовителей. Перед монтажом следует убедиться в соответствии исполнения электрической машины условиям эксплуатации (см. § 1.4). Провести предварительный осмотр, во время которого проверить комплектность электрической машины и трансформатора, сохранность крепежных деталей, состояние подшипников и коробки выводов электрических машин и вводов трансформаторов, а также проверить сопротивление изоляции обмоток. Если оно оказывается ниже допустимых норм, то осуществляется сушка обмоток.

§ 2.1. Способы сушки обмоток

Решение о необходимости сушки обмоток электрических машин принимается, если сопротивление изоляции обмоток ниже минимально допустимого. Например, у двигателей переменного тока с номинальным напряжением до 0,66 кВ и двигателей постоянного тока по Правилам технической эксплуатации электроустановок при температуре окружающей среды сопротивление изоляции обмоток должно быть соответственно не ниже 1 и 0,5 МОм. Для крупных электрических машин номинальной мощностью 5 МВт и более сопротивление изоляции обмоток определяется неравенством

$$R \geqslant U_{н}k_{п}/(1000+0{,}01S_{н}), \qquad (2.1)$$

где $U_{н}$ — номинальное напряжение, В; $S_{н}$ — номинальная мощность, кВ·А; $k_{п}$ — поправочный коэффициент, равный 1,0; 1,2, 1,7; 2,4; 3,4; 4,7; 6,7 и 9,4 соответственно при температуре изоляции обмоток в момент измерения 75; 70; 60; 50; 40; 30; 20 и 10°С.

При измерении сопротивления изоляции машин малой и средней мощности поляризация диэлектрика происходит быстро и также быстро устанавливаются показания мегаомметра. Для крупных электрических машин и трансформаторов поляризация характеризуется током абсорбции, который имеет наибольшее значение в первый момент времени и по мере поляризации затухает (обычно для затухания этого тока достаточно 60 с).

Для измерения качества изоляции вводится понятие коэффициента абсорбции, численно равного отношению сопротивлений изоляции через 60 с ($R_{60''}$) и через 15 с ($R_{15''}$) после приложения постоянного напряжения (подключения мегаомметра). Чем больше коэффициент абсорбции, тем выше качество изоляции. Значение коэффициента абсорбции $R_{60''}/R_{15''}$ при температуре 10—30°С должно быть не ниже 1,3.

Измерение сопротивления изоляции крупных электрических машин должно проводиться при температуре не ниже 10°С.

Обмотки роторов крупных электрических машин можно не сушить, если сопротивление изоляции при температуре 10—30°С не менее 0,5 МОм для генераторов и синхронных компенсаторов и не менее 0,2 МОм — для двигателей.

Для сушки обмоток применяются следующие методы: индукционный, внешнего нагрева или токовый.

Индукционный метод сушки. Суть этого метода состоит в том, что вокруг сердечника статора при вынутом роторе или вокруг сердечника вынутого ротора наматывается кольцевая обмотка (намагничивающая), которая подключается к источнику переменного тока. Образуемое этой обмоткой переменное магнитное поле вызывает нагрев сердечника статора (ротора) и соответствующий нагрев (сушку) обмотки.

Метод внешнего нагрева. При использовании этого метода горячий воздух направляется на металлические части машины, а не на сами обмотки, поскольку в последнем случае нагрев и сушка обмоток окажутся неравномерными. Для улучшения условий сушки у машин защищенного исполнения демонтируют жалюзи. С целью ускорения сушки машину помещают в изолированное помещение. В ряде случаев сушку производят с помощью электрических ламп накаливания мощностью до 1 кВт, которые помещают в расточку статора.

Метод токовой сушки. При токовой сушке используется тепло, выделяемое в обмотке при протекании по ней постоянного или переменного тока от постороннего источника. Величина тока ограничивается 40—60% номинального в связи с резким ухудшением охлаждения по сравнению с номинальным режимом работы.

К разновидности токовой сушки относится нагрев обмоток синхронных и машин постоянного тока с независимым или параллельным возбуждением током короткого замыкания. Машину вращают в этом случае с номинальной частотой. Для обеспечения равномерной сушки обмоток величину тока ограничивают таким образом, чтобы скорость нарастания температуры обмоток не превышала 5 град/ч.

Контроль параметров. При сушке обмоток следует контролировать их температуру, которая не должна превышать: 90—95°C — для обмоток с изоляцией класса B (температурный индекс 130°C), 120°C — для обмоток ротора класса F, 100°C — для незапеченных обмоток ротора класса B. Для контроля за ходом сушки через 1—2 ч замеряют сопротивление изоляции $R_{60''}$. Сопротивление изоляции в начале сушки может уменьшаться из-за распаривания изоляции, а затем по мере подсушивания возрастает и устанавливается на определенном уровне. Сушка считается законченной, когда сопротивление изоляции обмотки и коэффициент абсорбции остаются неизменными в течение нескольких часов прн установившейся температуре обмоток. Для машин мощностью до 400 кВт коэффициент абсорбции, как правило, не контролируется.

Для определения возможности включения трансформатора в эксплуатацию после его монтажа без сушки, т. е. для оценки его увлажнения, можно воспользоваться данными измерений емкости обмоток. Метод «емкость — частота» основан на том, что емкость увлажненной изоляции зависит от частоты приложенного напряжения. Степень увлажнения определяют по отношению емкости C_2, измеренной при частоте 2 Гц, к емкости C_{50} — при частоте 50 Гц и отклонению C_2/C_{50} от некоторых нормированных значений. Для измерений разработаны специальные приборы контроля влажности (ПКВ).

Метод «емкость — время», использующий зависимость величины емкости объекта от времени разряда на измерительную цепь,

позволяет определить даже незначительное увлажнение изоляции. Оценка состояния изоляции производится по величине прироста емкости ΔC за время разряда (1 с) к величине геометрической емкости C. Измерения по этому методу проводятся с помощью специально разработанных приборов типа ЕВ (емкость—время), основанных на принципе однократного заряда и разряда емкости изоляции обмоток.

Для количественной оценки увлажнения твердой изоляции в трансформаторах большой мощности ($S_{\text{ном}} \geqslant 80$ МВ·А) закладывают контрольные образцы изоляции (макет). Макет состоит из набора пластин электроизоляционного картона толщиной 0,5—3,0 мм. Устанавливают набор на верхнюю ярмовую балку во время сборки трансформатора и вместе с трансформатором подвергают термовакуумной обработке. По влагосодержанию образца судят об увлажнении изоляции, по влагосодержанию образцов различной толщины можно судить о глубине проникновения влаги в изоляцию.

Контрольная подсушка трансформаторов. При наличии признаков увлажнения масла и нарушения герметичности; превышении допустимого времени хранения без масла или без доливки масла (но не более одного года); нахождении активной части в разгерметизированном состоянии в течение времени, превышающего допустимое (не более чем вдвое), или незначительном ухудшении состояния изоляции, выявленном в результате комплекса испытаний, производится контрольная подсушка трансформатора.

Для контрольной подсушки трансформаторов 110—750 кВ в настоящее время разработан метод низкотемпературной обработки изоляции. Метод основан на интенсивном удалении паров воды из твердой изоляции при помощи низкотемпературной ловушки паров в условиях глубокого вакуума. Движущей силой массообмена при сушке является разность давлений насыщенных водяных паров в баке трансформатора и у поверхности ловушки. Оптимальная интенсивность испарения достигается при применении ловушки с температурой поверхности —70÷—80°C. В качестве хладоагента для ловушкн применяется смесь сухого льда с ацетоном. Во время сушки пары влаги отсасываются вакуумным насосом и интенсивно конденсируются на поверхности ловушки. Ловушка подключена к трансформатору через патрубки для заливки и слива масла.

Для поддержания необходимой интенсивности сушки используется тепло, аккумулированное магнитопроводом и другими металлнческими частями трансформатора. Для успешной сушки достаточно, чтобы температура изоляции была не ниже 20°C. В противоположном случае необходим предварительный подогрев трансформатора до указанной температуры.

Контрольная подсушка изоляции в масле может производиться с прогревом обмоток постоянным током или током короткого замыкания. Возможна сушка токами нулевой последовательности — за счет нагрева активной стали и бака трансформатора вихревыми токами, образующимися под действием магнитных потоков нулевой последовательности. Прогрев производится при температуре верхних слоев масла 70—80°С.

Сушка изоляции трансформатора без масла. При значительном увлажнении изоляции, обнаружении следов воды на активной части или в баке трансформатора и отклонении от норм, указанных для контрольной подсушки, производится сушка изоляции трансформатора без масла. Сушка изоляции без масла позволяет ускорить процесс и сохранить качество масла и изоляции обмоток. Сушка может производиться в стационарном сушильном шкафу, в специальной камере и в собственном баке.

Наиболее качественной является сушка в стационарном сушильном шкафу под вакуумом, однако затраты на сооружение такой установки оправданы только в условиях крупного ремонтного предприятия.

Одним из наиболее распространенных является индукционный метод сушки в баке трансформатора без масла. Намагничивающая обмотка, размещенная на боковой поверхности бака, при питании переменным током создает магнитный поток, вызывающий потери в стали бака, которые используют для нагрева активной части.

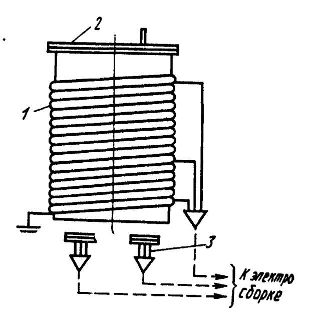


Рис. 2.1. Общий вид трансформатора при сушке изоляции обмоток индукционным методом:

1 — намагничивающая обмотка; 2 — бак трансформатора; 3 — электропечи донного подогрева

В процессе сушки контролируются температура изоляции обмоток и значения характеристик изоляции ($R_{60''}$, $\mathrm{tg}\,\delta$, $\Delta C/C$ и т. д.), а также количество выделенного конденсата. Сушка продолжается до прекращения выделения влаги в охладительной колонке (рис. 2.1) и изменения значений характеристик изоляции (при их постоянстве в течение 6—8 ч) при постоянных значениях температуры (95—105°С) и давления (не более 665 Па).

Сушка активной части трансформатора в хорошо утепленной камере может производиться при атмосферном давлении с помощью воздуходувок, электропечей или змеевиков с паром. В процессе сушки струя горячего воздуха не должна направляться непосредственно на обмотки.

§ 2.2. Монтаж электрических машин

Перед монтажом следует убедиться в соответствии исполнения электрической машины условиям окружающей среды (см., в частности, § 1.3) и проверить комплектность электрической машины, сохранность крепежных деталей, сопротивление изоляции обмоток, состояние подшипников и коробки выводов электрических машин. Ротор машины должен свободно вращаться в подшипниках (поворот ротора у машин мощностью до 10 кВт обычно осуществляется вручную, при большей мощности — рычагом). При необходимости выполняют ревизию — очистку загрязненных поверхностей, замену смазки в подшипниках, затяжку болтовых соединений и др.

В зависимости от мощности и конструктивного исполнения электрические машины могут поступать на место работы в собранном или разобранном виде. От этого в основном и зависит способ монтажа. В первом случае по известным установочным размерам машины заранее изготовляют крепежные детали и конструкции. Машины устанавливаются на металлических рамах или фундаментах (отдельных или общих с приводным механизмом или приводным двигателем). Для уменьшения вибраций в ряде случаев под опорными поверхностями устанавливают демпферы (гасители колебаний). Поскольку установочные размеры имеют допуски на номинальные размеры, перед монтажом необходимо предусмотреть установку прокладок, перекрывающих соответствующие поля допусков.

Монтаж машин небольшой мощности. Машины небольшой мощности соединяются с приводным механизмом с помощью муфт различного типа, зубчатых, ременных или фрикционных передач.

При соединении с помощью муфт машины устанавливают так, чтобы торцовые поверхности муфт были параллельны, а оси валов соединяемых машин находились на одной линии. Для жестких и упругих муфт отклонение в зазорах допускается соответственно 0,01 мм и 0,1—0,12 мм на 100 мм диаметра муфты. Контроль точности центровки осуществляется по величине радиальных *а* и осевых *в* зазоров в четырех точках, равномерно расположенных по окружности муфты, при совместном повороте соединяемых валов на угол 0, 90, 180 и 270° (рис. 2.2). После получения удовлетворительных отклонений в четырех точках машину окончательно закрепляют и еще раз проверяют центровку валов. На практике для удобства центровки используются центровочные скобы *1, 2* различной конструкции, укрепляемые на полумуфтах *3, 4*.

При использовании цепной или ременной передачи необходимо обеспечить натяжение ремня или цепи и совместить средние линии шкивов или звездочек, установленных на ведомом и веду-

щем валах. Средние линии шкивов (звездочек) совмещают с помощью натянутой параллельно шкивам (звездочкам) струны. Для обеспечения требуемого натяжения машина должна иметь возможность перемещения в плоскости, образованной осями вращения соединяемых машин.

При использовании зубчатой передачи необходимо обеспечить параллельность валов соединяемых машин и одинаковый зазор между зубьями сопрягаемых шестерен по всей длине зуба. Допуск на несоосность валов обычно не превышает 0,5°. Контроль несоосности обычно проводится с помощью индикаторов.

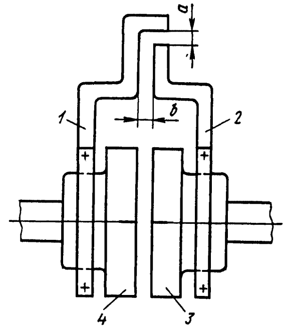


Рис. 2.2. Эскиз центровочных скоб

После закрепления электрической машины ее корпус заземляется. Места присоединения заземляющих проводов тщательно зачищаются и не закрашиваются.

Монтаж машин большой мощности. Особенность монтажа мощных электрических машин, поступающих в собранном состоянии, заключается в том, что он начинается с установки отдельной фундаментной плиты. Горизонтальность опорной поверхности плиты обеспечивается с помощью прокладок. На фундаментную плиту устанавливают электрическую машину и проводят центровку валов.

При диаметре муфты (фланца) 600 мм допустимые отклонения для жесткой муфты составляют 0,08 мм при частоте вращения 500 об/мин, 0,04 мм — при 750 об/мин и 0,04 мм — при 1500 об/мин. Для упругой муфты эти отклонения соответственно равны 0,15; 0,1; 0,08 мм, для зубчатой муфты — 0,2, 0,15, 0,12 мм соответственно. При использовании муфт большего диаметра допустимые отклонения определяются путем пропорционального пересчета отклонений, относящихся к муфте диаметром 600 мм.

Под действием суммарной массы вала и ротора (якоря) валы машин прогибаются в вертикальной плоскости. Центровка валов крупных электрических машин заключается в такой установке соединяемых валов, при которой их общая линия представляет в вертикальной плоскости плавную кривую, а ее проекция на горизонтальную плоскость — прямую линию. При центровке торцы сопрягаемых полумуфт или фланцев устанавливаются параллельно, а осевые линии валов должны быть продолжением одна другой и совпадать у сопрягаемых полумуфт. Ближние к полумуфтам подшипники устанавливаются так, чтобы углы наклона шеек вала к горизонтальной линии были одинаковы. Ре-

гулировка подшипников по высоте осуществляется с помощью прокладок, устанавливаемых под корпус подшипника. Нарушение приведенных рекомендаций по центровке валов приводит к появлению при работе машины повышенных вибраций, разрушению подшипников, ускоренному износу ремней и муфт, выходу из строя щеточно-контактных соединений.

Монтаж электрических машин, поступающих в разобранном состоянии, производится в такой последовательности: на монтажной площадке размещают узлы машины и ревизуют их, подготавливают фундамент, устанавливают и выверяют фундаментную плиту, монтируют стояковые подшипники и устанавливают статор машины на плиту, монтируют ротор (заводят его в статор и устанавливают шейки вала на подшипники), центрируют валы, пригоняют вкладыши подшипников скольжения и их уплотнения, выверяют осевой разбег и радиальный зазор в подшипниках. Кроме того, во время монтажа устанавливаются системы вентиляции (охлаждения) электрической машины и смазки подшипников, производятся соединение электрических цепей, включая укладку недостающих катушек обмотки, монтаж токосъемных механизмов и регулировка коллектора и контактных колец.

§ 2.3. Монтаж трансформаторов

До начала работ по монтажу трансформатора подготавливают: фундамент под трансформатор, помещение трансформаторно-масляного хозяйства, баки для хранения масла со всеми коммуникациями маслопроводов; монтажные механизмы, аппараты, приспособления и инвентарь; трансформаторное масло в количестве, необходимом для заливки и доливки трансформатора и для технологических нужд в процессе монтажа (масло должно быть высушено и залито в баки, оборудованные масломерным устройством и системой дыхания); средства пожаротушения и противопожарный пост на время прогрева и сушки трансформатора.

На электростанциях и подстанциях 35—750 кВ применяется, как правило, открытая установка трансформаторов. Закрытую установку используют только в районах интенсивного загрязнения атмосферы и в районах жилой застройки для ограничения шума.

При открытой установке в районе усиленного загрязнения рекомендуется применять трансформаторы со специальными кабельными вводами на стороне 110—220 кВ и шинными выводами в закрытых коробах на стороне 6—10 кВ.

Трансформаторы массой до 2 т могут устанавливаться непосредственно на фундамент; в остальных случаях фундамент оснащается направляющими для катков трансформатора с упорами, устанавливаемыми по обе стороны трансформатора после его закатывания на фундамент.

Трансформатор устанавливается на фундамент таким образом, чтобы его крышка имела уклон 1—1,5%, обеспечивающий беспрепятственное поступление газа из трансформатора в маслопровод, идущий к газовому реле. Уклон создается обычно установкой подкладок под катки или непосредственно под дно бака (при отсутствии катков).

Для закрытой установки трансформаторов используется либо отдельное здание, предназначенное для размещения только трансформаторов и их вспомогательного оборудования (системы охлаждения, вентиляции, пожаротушения), либо трансформаторные камеры — помещения в общем здании энергетического объекта.

Каждая камера трансформатора снабжается индивидуальной вентиляционной системой, не связанной с другими вентиляционными системами здания. Система рассчитывается на отвод тепла, выделяемого при работе трансформатора с номинальной нагрузкой, и проектируется таким образом, чтобы разность температур на входе и выходе из помещения не превышала 15°С. Конструкция вентиляционных шахт должна предотвращать попадание через нее на трансформатор влаги.

В случае нарушения условий транспортировки или хранения трансформатора или при неудовлетворительных результатах предварительной оценки состояния изоляции обмоток дополнительно проверяют влагосодержание образцов изоляции, которые закладываются в трансформаторы мощностью более 80 МВ·А. Влагосодержание образца изоляции толщиной 3 мм должно быть не более 1%. Результаты предварительной оценки состояния изоляции учитываются при решении вопроса о включении трансформатора под напряжение без сушки.

Монтаж составных частей трансформатора производится без ревизии активной части и без подъема съемной части («колокола»), если не было нарушений условий выгрузки, транспортировки и хранения или других нарушений, которые могли привести к повреждениям внутри бака трансформатора. При наличии таких повреждений перед установкой комплектующих изделий необходимо произвести ревизию трансформатора.

Вскрытие трансформатора для установки составных частей (вводов, цилиндров, встроенных трансформаторов тока) следует производить в ясную сухую погоду. После вскрытия трансформатора изоляция обмоток предохраняется от увлажнения за счет продувки бака в течение всего времени разгерметизации сухим воздухом.

Допускается разгерметизировать трансформатор напряжением 110—500 кВ мощностью до 400 МВ·А без подачи в бак сухого воздуха, если температура его активной части не менее 10°С и превышает точку росы окружающего воздуха не менее чем на

10°С, относительная влажность — не более 85%, а продолжительность разгерметизации не превышает 16 ч.

После монтажа составных частей остатки трансформаторного масла сливают (трансформаторы, транспортируемые без масла) через донную пробку, бак герметизируют для последующего вакуумирования и заливки или доливки масла.

Для трансформаторов, имеющих азотную и пленочную защиту, заливка масла производится через дегазационную установку.

Монтаж охлаждающей системы. При монтаже охлаждающей системы типа Д (охлаждение масляное с дутьем) на баке устанавливают кронштейны, на которых размещают электродвигатели с вентиляторами, монтируют электрическую схему питания; после установки радиаторов открывают радиаторные краны.

Система охлаждения типа ДЦ (охлаждение масляное с дутьем и принудительной циркуляцией масла) поставляется в навесном или выносном исполнении. При навесном исполнении все детали и узлы трубопроводов свариваются и полностью подготавливаются на заводе. На месте монтажа охладители навешивают на бак трансформатора и соединяют с баком трубами. При выносном — охладители устанавливают на отдельных фундаментах и соединяют с трансформатором трубами, узлы которых подгоняются и свариваются на месте установки.

Одновременно с монтажом системы охлаждения производится монтаж остальных деталей и частей трансформатора — установка термосифонных фильтров, расширителя, выхлопной трубы, присоединение воздухоосушителя к расширителю, установка газового реле и сигнальных манометрических термометров.

После окончания монтажа охлаждающей системы и других частей трансформатора доливают масло в бак трансформатора и заливают маслом охлаждающую систему.

Проверка состояния изоляции обмоток. Окончив монтаж трансформатора, производят измерение сопротивления изоляции обмоток и определяют коэффициент абсорбции; tg δ изоляции и т. д. (см. гл. 3). Сопротивление изоляции необходимо сравнить со значением, измеренным в заводских условиях; для неувлажненной изоляции $R_{60''} \geqslant 0{,}7 R_{60''\text{зав}}$. Допустимые значения изоляционных характеристик для трансформаторов напряжением до 35 кВ и мощностью до 10 МВ·А приведены в табл. 2.1.

В тех случаях, когда выявлены нарушения инструкции по монтажу и введению трансформатора в эксплуатацию, производится ревизия трансформатора с подъемом съемной части бака или активной части.

Ревизия трансформатора. Ревизия включает совокупность работ по вскрытию, осмотру, устранению неисправностей и герметизации активной части трансформатора. Чтобы избежать увлажнения изоляции, ограничивают продолжительность нахождения активной части вне бака: при температуре окружающего воздуха

Таблица 2.1

Температура изоляции обмоток, °С	Допустимые значения изоляционных характеристик		
	tg δ, %	C_2/C_{50}	$\Delta C/C$, %
10	1,2/2,5	1,1/1,2	13/Н
20	1,5/3,5	1,2/1,3	20/Н
30	2,0/5,0	1,3/1,4	30/Н
40	3,4/11	—/1,6	—/Н
50	6,0/20	—/1,8	—/Н

Примечание. C_2/C_{50} — отношение емкостей изоляции обмоток, соответствующих частотам приложенного напряжения 2 и 50 Гц; $\Delta C/C$ — прирост абсорбционной емкости ΔC по отношению к геометрической емкости изоляции обмоток; в числителе указаны значения характеристик для новых трансформаторов; в знаменателе — для бывших в эксплуатации; Н — параметр не нормируется.

0°С или относительной влажности выше 75% — 12 ч, при влажности 65—75% — 16 ч, при влажности до 65% — 24 ч. Ревизия производится при температуре активной части, равной или выше температуры окружающей среды. При температуре окружающего воздуха ниже нуля трансформатор с маслом подогревают до 20°С. Время ревизии может быть увеличено вдвое по сравнению с указанными выше нормами при температуре окружающего воздуха выше 0°С, влажности ниже 75% и температуре активной части, превышающей температуру окружающего воздуха не менее чем на 10°С.

Осмотр трансформатора производят в закрытом помещении; масло сливают в сухой и чистый бак, активную часть устанавливают на настил из досок. При ревизии проверяют затяжку доступных стяжных шпилек ярма, креплений отводов, барьеров, переключающих устройств, осевую прессовку обмоток. При необходимости равномерно по всей окружности производят подпрессовку обмоток (клиньями или подтягиванием винтов и домкратов). Устраняют замеченные неисправности в изоляции доступных частей обмоток, отводов и других изоляционных элементов. Проверяют сопротивление изоляции обмоток между собой и относительно магнитопровода, сопротивление изоляции доступных стяжных шпилек, бандажей и полубандажей ярма относительно активной части и ярмовых балок и схему заземления.

После проведения измерений и проверок активную часть промывают сухим трансформаторным маслом и опускают в бак или устанавливают на место съемную часть бака, после чего уплотняют места соединений.

Монтаж сухих и герметичных трансформаторов. Ревизия сухих трансформаторов, имеющих защитный кожух простой формы, сводится к внешнему осмотру: проверяют надежность контакт-

ных соединений, отсутствие повреждений обмоток, изоляторов и изоляционных прокладок. Обмотки и магнитопровод продувают сжатым воздухом; выполняют необходимые измерения. Если изоляция обмоток ниже нормы, проводят их сушку в сушильной камере с обогревом воздуходувкой, электрообогревом или в вакуумном шкафу с нагревом обмоток током короткого замыкания. Герметичные трансформаторы, заполненные совтолом, на месте установки разборке не подлежат.

§ 2.4. Пусконаладочные и электромонтажные работы

Пусконаладочные работы. После окончания монтажа электрическую машину при отключенном приводном механизме прокручивают вручную. Первый пуск двигателей осуществляют на холостом ходу, с проверкой направления вращения ротора, причем если оно совпадает с заданным, продолжают испытания и определяют уровень вибраций, наличие стуков подшипников и их температуру. После устранения выявленных недостатков включают двигатель совместно с приводным механизмом, контролируя во время совместной работы плавность механической передачи (если таковая имеется), температуру подшипников, вибрации и пр. Продолжительность работы на холостом ходу — не менее 1 ч.

При получении удовлетворительных результатов на холостом ходу проверяют работу электродвигателя под нагрузкой.

Перед включением трансформатора необходимо убедиться в исправности всех цепей и устройств управления, защиты, сигнализации и автоматики. Первое включение должно носить пробный характер. Необходимо принять меры по автоматическому отключению трансформатора при возможном проявлении не обнаруженного дефекта.

Включение трансформатора следует производить при всех задействованных защитах, включенных на отключение. Сигнальные контакты газовых реле рекомендуется при первом включении пересоединить на отключение трансформатора. Пробное включение трансформатора под рабочее напряжение допускается не ранее чем через 12 ч после последней доливки его маслом и длится не менее 30 мин, в течение этого времени прослушивают и наблюдают за состоянием трансформатора. После этого трансформатор отключают и затем включают три-четыре раза подряд для отстройки защит от бросков намагничивающего тока.

Трансформаторы с дутьевой циркуляционной системой охлаждения допускается включать при отключенной системе охлаждения. При этом необходимо следить, чтобы температура верхних слоев масла не превышала 75°С.

После опробования трансформатора производится его фазировка, заключающаяся в проверке чередования фаз трансформа-

тора и их соответствия фазам питающей сети (совпадение фаз). В случае параллельной работы трансформаторов дополнительно определяется фазовый сдвиг между первичными и вторичными напряжениями (группа) трансформатора.

В случае, если при пробном включении дефектов не обнаружено и установлено совпадение фаз включаемого трансформатора и действующей установки, трансформатор может быть включен под нагрузку.

Организация труда и механизация электромонтажных работ. Электромонтажные работы завершают любое строительство, они определяют сроки ввода объектов в эксплуатацию. Для ускорения ввода объектов в эксплуатацию электромонтажные работы выполняются в две стадии.

На первой стадии решаются вопросы, связанные с организацией труда. После ознакомления с проектом разрабатывают линейные и сетевые графики и технологию электромонтажных работ, после чего разрозненное оборудование собирают в блоки, проводят его регулирование и наладку. На строительной площадке в зоне предстоящего монтажа проверяют проходы и технологические каналы, необходимые для установки электрооборудования, заготавливают и устанавливают закладные детали по мере готовности электромашинных помещений.

Так как фундаменты, стены и перекрытия представляют собой строительные конструкции, которые нельзя пробивать, то в них устанавливают дополнительные детали, необходимые для последующего монтажа. Отметим, что заготовительные работы, проводимые вне зоны монтажа, могут быть широко механизированы.

Вторая стадия работы проводится после полного окончания строительных, отделочных и специальных работ в электромашинных помещениях. На этом этапе применяют средства механизации — телескопические вышки, специализированные машины, кабелеукладчики, монтажные лебедки, приспособления и механизированный инструмент. Вторая стадия завершается пусконаладочными работами. Наладку сравнительно простых объектов выполняют электромонтажники, наладку сложного оборудования — специализированные пуско- и монтажно-наладочные управления.

Наладочные работы выполняют поэтапно:

работы без подачи напряжения в схему, в процессе которых производятся осмотр оборудования, выявление недоделок, измерение сопротивления изоляции, проверка пускорегулирующей аппаратуры и фазировка линий;

работы с подачей напряжения в оперативные цепи управления для проверки действия всех элементов схемы при нормированных отклонениях напряжения, выявленные недоделки и неисправности регистрируются;

работы по проверке силовых цепей с подачей напряжения как в оперативные, так и в силовые цепи с ручным управлением элек-

троприводами для опробования их работы в различных режимах, объект на этом этапе передается обслуживающему персоналу;

комплексные испытания и режимная наладка, на этом этапе обслуживание электроустановок находится в ведении эксплуатационного персонала, а наладчики наблюдают за четкостью и надежностью действия электрооборудования, настраивают его на различные режимы работы.

Электромонтажные работы проводятся по сетевому графику, представляющему собой модель технологических операций с отображением их взаимосвязи и последовательности выполнения. Сроки начала последующих работ определены в зависимости от времени предшествующих. Элементами графика являются событие (факт окончания одной или нескольких работ), работа (производственный процесс, требующий затраты труда, времени и ресурсов) и ожидание (процесс, требующий затрат времени без затрат ресурсов и труда). Сетевой график характеризуется начальным, конечным и промежуточным событиями. Непрерывная последовательность событий, работ и ожиданий от начального до конечного события, требующая для своего выполнения наибольшего времени, называется *критическим путем*. События и работы на критическом пути называются критическими. Продолжительность работ, лежащих на критическом пути, определяют общую продолжительность комплекса работ, планируемых в сетевом графике.

Сетевое планирование позволяет осуществлять оперативный контроль за ходом работ. Выполнение работ по сетевому графику контролируется обычно два раза в неделю, при этом определяются процент и объем выполнения работ, резервы времени для выполнения критических работ за счет некритических. Система сетевого планирования позволяет сократить отчетность, выделить из большого комплекса монтажных и пусконаладочных работ наиболее важные, лежащие на критическом пути, сосредоточить на них внимание и материальные ресурсы. Помимо этого они содействуют четкому установлению всех взаимосвязей между строительно-монтажными организациями, координации их работы и выбору оптимальных вариантов производства работ с целью сокращения их сроков.

Важное значение в сокращении сроков монтажа играют его механизация и индустриализация. При комплексной механизации все основные процессы по монтажу электрических машин выполняются механизированными инструментами и машинами, при частичной механизации машины заменяют ручной труд на отдельных видах работ. При малой механизации инструменты, приспособления и механизмы применяют на отдельных операциях.

К индустриализации работ при монтаже относится совокупность мероприятий, направленных на сокращение сроков, повы-

шение производительности труда, улучшение качества работ за счет выполнения части электромонтажных работ вне электромашинных помещений — на заводах и монтажных участках. Уровень индустриализации работ характеризуется отношением объема работ, выполняемых индустриальными методами, ко всему объему работ. Для электромонтажных работ оптимальный уровень индустриализации колеблется от 12 до 40%.

Внедрение индустриализации повышает сохранность монтируемого оборудования, надежность и безопасность работы, уменьшает продолжительность монтажа. Монтаж электрооборудования обычно выполняют специализированные по видам работ звенья по 2—3 человека, из которых создаются бригады по 6—12 человек.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях необходима сушка обмоток электрических машин и трансформаторов?
2. Какие параметры контролируются при сушке обмоток?
3. Назовите способы сушки обмоток электрических машин и трансформаторов. Какова область их применения?
4. Чем отличается процесс сушки трансформатора от сушки электрической машины? В чем причины этих отличий?
5. Как осуществляется центровка валов электрической машины и механизма в случае соединения валов с помощью муфты (зубчатой передачи)?
6. Каковы особенности центровки валов крупных электрических машин?
7. Как осуществляется монтаж трансформатора?
8. В каких случаях проводится ревизия трансформатора и каково ее содержание?
9. В чем особенность монтажа сухих трансформаторов?
10. Какова последовательность наладочных работ?

ГЛАВА 3
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

При эксплуатации трансформаторов предусматривается оперативное и техническое обслуживание, а также планово-предупредительные ремонты. В процессе работы трансформаторов возможны систематические и аварийные перегрузки, которые ограничиваются допустимым износом изоляции и предельно допустимыми температурами обмоток и масла. Расчет длительности систематических перегрузок проводится на базе действующего стандарта. Для поддержания работоспособности трансформатора во время эксплуатации предусматривается проведение текущих ремонтов и контроль за качеством трансформаторного масла.

§ 3.1. Организация обслуживания трансформаторов

В процессе эксплуатации осуществляют оперативное и техническое обслуживание, а также планово-предупредительные ремонты трансформаторов.

Оперативное обслуживание трансформаторов. К этому виду обслуживания относятся: управление режимом работы; проведение периодических и внеочередных осмотров; периодический контроль значений параметров, характеризующих режим работы, и анализ полученных данных; выполнение организационно-технических мероприятий по обеспечению безопасного технического обслуживания и ремонта.

Техническое обслуживание трансформаторов. Этот вид обслуживания включает:

профилактический контроль состояния изоляции и контактной системы, а также устройств охлаждения, регулирования и пожаротушения, выполняемый вне комплекса планово-предупредительного ремонта;

работы по поддержанию надлежащего состояния изоляционного масла в трансформаторе, в баке устройства переключения под нагрузкой и во вводах, в том числе работы по восстановлению качества масла (сушка, регенерация) и по его доливке;

смазка и уход за доступными вращающимися и трущимися узлами, подшипниками устройств регулирования напряжения и охлаждения;

периодическое опробование резервного вспомогательного оборудования, настройка, проверки и ремонты вторичных цепей и устройств защиты, автоматики, сигнализации и управления.

Планово-предупредительные ремонты трансформаторов. Этот вид обслуживания включает текущий и капитальный ремонты и связанные с ними испытания и измерения. Периодичность (в годах) основных работ по планово-предупредительным ремонтам трансформаторов приведена в табл. 3.1.

Работы по обслуживанию трансформаторов могут быть как плановыми, так и внеочередными. Плановые работы выполняются с заранее определенным объемом и сроками проведения; внеплановые — вследствие отказов трансформатора или его элементов, в связи с выявлением дефекта и т. д.

Обслуживание силовых трансформаторов в энергосистемах проводится предприятиями электрических станций или электрических сетей.

Все повысительные и часть понизительных подстанций эксплуатируются с постоянным дежурным персоналом. Трансформаторные пункты в городских сетях и понизительные подстанции 110 кВ, а также распределительные подстанции 20—35 кВ эксплуатируются без постоянного персонала и обслуживаются разъездными бригадами.

Функции по обслуживанию силовых трансформаторов распределяются между ремонтным и оперативным персоналом, персоналом, обслуживающим системы релейной защиты, и испытателями.

Ремонтный персонал (в основном электрослесари по ремонту

Таблица 3.1

<table>
<tr><th rowspan="2">Категория трансформатора</th><th colspan="3">Текущий ремонт с испытаниями, лет</th><th colspan="2">Капитальный ремонт с испытаниями, лет</th></tr>
<tr><th>трансформатор без РПН</th><th>трансформатор с РПН</th><th>система охлаждения Д, ДЦ, Ц</th><th>первый после включения</th><th>последующие</th></tr>
<tr><td>Главные трансформаторы электростанций и подстанций</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>12*</td><td rowspan="5">По мере необходимости в зависимости от результатов испытания и состояния трансформатора</td></tr>
<tr><td>Трансформаторы собственных нужд электростанций:
основные</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>12**</td></tr>
<tr><td>резервные</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td rowspan="3">По мере необходимости в зависимости от результатов испытания и состояния трансформатора</td></tr>
<tr><td>Трансформаторы в зоне загрязнения</td><td>По местным инструкциям</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>Остальные трансформаторы</td><td>4</td><td>1</td><td>1</td></tr>
</table>

* Внеочередной ремонт устройства РПН — после определенного числа операции (по указанию завода-изготовителя).

** Для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше и мощностью 80 мВ·А и более; для остальных — по мере необходимости.

оборудования) под руководством инженерно-технических работников (мастеров, начальников групп подстанций, инженеров служб) проводит капитальные и текущие ремонты трансформаторов, а также ряд эксплуатационных работ (отбор пробы масла, обтирка изоляции, техническое обслуживание устройств охлаждения и др.) и некоторые виды испытаний (проверка изоляции обмоток трансформатора, цепей питания электродвигателей системы охлаждения и пожаротушения, измерение сопротивлений контактной системы и ряд других).

Оперативный персонал участвует в оперативном обслуживании трансформаторов, а выявленные им дефекты учитываются при планировании эксплуатационных и ремонтных работ. Оперативный персонал сведения об обнаруженных дефектах записывает в специальный журнал. Руководитель подразделения указы-

вает в журнале намеченные мероприятия и сроки по устранению дефекта. Кроме того, оперативный персонал участвует в приемке оборудования из ремонта.

Устройства релейной защиты и автоматики обслуживаются специальным персоналом, который взаимосвязан с оперативным и ремонтным.

Испытатели проводят профилактические проверки изоляции и контактной системы трансформатора. Проверяются также выключатели, разъединители, разрядники, системы охлаждения и регулирования напряжения и др. Этот персонал разрабатывает также мероприятия по защите трансформаторов от перенапряжений. Следует отметить, что некоторые виды испытаний могут проводиться ремонтным персоналом.

Координация действия всех категорий эксплуатационного персонала по обслуживанию трансформаторов осуществляется руководством электроцеха или соответствующих служб, а на электросетевых предприятиях — руководством электросети или производственных служб предприятия электросети.

§ 3.2. Режимы работы и нагрузочная способность трансформаторов

Режимы работы трансформаторов. *Номинальным* называется режим работы трансформатора при номинальных значениях напряжения, частоты и нагрузки, параметрах охлаждающей среды и условиях места установки, оговоренных соответствующими стандартами или техническими условиями. Трансформатор может длительно работать в этом режиме. Номинальные данные указываются предприятием-изготовителем на щитке, установленном на корпусе трансформатора.

Нормальным называется режим работы трансформатора, при котором его параметры отклоняются от номинальных не более чем это допускается стандартами, техническими условиями или инструкциями.

Для масляных трансформаторов классов напряжения 110 кВ и выше допускаются при работе на любом ответвлении обмотки превышения напряжений в 1,3 раза по отношению к номинальному значению в течение 20 с (предшествующая нагрузка номинальная) и в 1,15 раза в течение 20 мин (предшествующая нагрузка не более 0,5 номинальной).

Трансформаторы классов напряжения до 35 кВ включительно мощностью свыше 630 кВ·А и все трансформаторы классов напряжения от 110 до 1150 кВ включительно допускают продолжительную работу (при нагрузке не более номинальной), если превышение напряжения на любом ответвлении любой обмотки на 10% более номинального напряжения данного ответвления. При этом напряжение на любой обмотке не должно превышать наи-

большее рабочее напряжение $U_м$, которое в зависимости от класса напряжения $U_{кл}$ составляет:

$U_{кл}$, кВ . .	3	6	10	15	20	35	110	150	220	330	500	750
$U_м$, кВ . .	3,5	6,9	11,5	17,5	23	40,5	126	172	252	363	525	787

Допустимые продолжительные повышения напряжения для трансформаторов классов напряжения до 35 кВ включительно установлены в стандартах или технических условиях на эти трансформаторы.

Нагрузочная способность трансформатора [1]. Под нагрузочной способностью понимают свойство трансформатора работать со сверхноминальной нагрузкой при определенных условиях эксплуатации (предшествующая нагрузка трансформатора, температура охлаждающей среды).

Естественным сроком службы трансформатора, работающего непрерывно с номинальной нагрузкой, называется время работы, по истечении которого изоляция обмоток трансформатора становится физически изношенной и трансформатор находится под постоянной угрозой аварии. Срок службы трансформаторов составляет от 20 до 40 лет в зависимости от графика нагрузки.

Средний срок службы трансформатора, работающего в номинальном режиме, составляет примерно 20 лет. Если в течение срока службы трансформатора его изоляция работает безотказно, трансформатор называют термически стойким. При этом за номинальную температуру в наиболее нагретой точке для класса нагревостойкости изоляции *А* принимается 98°С (наибольшая длительно допустимая температура для этого класса 105°С).

Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендует срок службы изоляции класса нагревостойкости *А* оценивать в соответствии с эмпирической формулой

$$V = ce^{-\alpha\vartheta}, \quad (3.1)$$

где α и c — постоянные коэффициенты ($\alpha=0{,}115$, $c=(7{,}5\div1{,}5)\times\times10^4$ лет для диапазона температур $80\div140$°С); ϑ — температура изоляции обмотки в наиболее нагретой точке, °С.

Срок службы изоляции класса нагревостойкости *А* изменяется в два раза при изменении температуры на 6°С от номинального значения.

На практике чаще пользуются выражением для относительного срока службы изоляции:

$$v = V/V_н = e^{-\alpha(\vartheta-\vartheta_н)} \quad (3.2)$$

[1] Стандарт рассматривает трансформаторы с масляным охлаждением и категории размещения 1, 2.

или выражением для относительного износа изоляции

$$L = 1/v = e^{\alpha(\vartheta - \vartheta_н)}. \qquad (3.3)$$

Здесь $V_н = ce^{-\alpha\vartheta_н}$ — срок службы изоляции трансформатора при номинальной температуре в наиболее нагретой точке.

Относительный износ изоляции L показывает, во сколько раз износ изоляции при данной температуре больше (или меньше) износа при номинальной температуре за то же время работы. Имея в виду, что при температуре 98°С относительный износ изоляции равен 1, можно определить, что при температуре, например, 86°С он составит 0,25 (относительный срок службы равен 4), а при температуре 110°С — соответственно $L=8$, $v=0{,}125$.

Трансформаторы обычно работают с переменной нагрузкой. При этом, если максимум изменяющейся нагрузки равен (или меньше) номинальной, температура обмоток и масла колеблется от допустимой в сторону меньших значений, вследствие чего износ изоляции уменьшается. Это дает возможность без ущерба для срока службы трансформатора в эксплуатации повышать его нагрузку сверх номинальной.

Перегрузки разделяют на систематические и аварийные. Систематические перегрузки имеют место при переменном суточном графике нагрузки; аварийные возникают при ситуациях, когда требуется обеспечить электроснабжение потребителей, несмотря на перегрузку трансформатора. Допустимые величины систематических и аварийных перегрузок установлены для масляных трансформаторов мощностью до 100 МВ·А включительно по ГОСТ 14209—85 «Нагрузочная способность трансформаторов», для остальных — в соответствии с требованиями стандартов, технических условий или инструкций.

Величина систематических перегрузок ограничивается средним износом изоляции [1], который должен быть не больше единицы ($L_{ср} \leqslant 1$). При этом вводятся дополнительные ограничения: температура обмотки в наиболее нагретой точке $\vartheta_{обм.н.н.т} \leqslant 140°С$, температура масла в верхних слоях $\vartheta_м \leqslant 95°С$, мощность не должна быть выше 1,5 $S_{ном}$ (последнее условие лимитируется параметрами вводов и параметрами устройств регулирования напряжения).

Допустимая величина аварийных перегрузок лимитируется не износом изоляции, а предельно допустимыми температурами обмоток и масла:

$$\vartheta_{о.н.н.т} \leqslant 140°С, \quad \vartheta_м \leqslant 115°С.$$

---

[1] Средний износ определяется по формуле $L_{ср} = \sum_{i=1}^{n} L_i t_i / \sum_{1}^{n} t_i$, где t_i — время работы с нагрузкой S_i.

Вопрос о допустимости систематических перегрузок решается с учетом графика нагрузки трансформатора. Для упрощения расчетов используют понятие «эквивалентная температура охлаждающей среды»— такая неизменная за расчетный период температура (сутки, месяц, год), при которой износ изоляции будет таким же, как при изменяющейся температуре за тот же период. В общем случае для определения длительности систематических перегрузок график фактической нагрузки трансформатора преобразовывают в эквивалентный, как правило двухступенчатый; определяют эквивалентную температуру охлаждающей среды $\vartheta_{эк}$ (например, среднесуточную или среднелогарифмическую за сутки); рассчитывают установившееся значение температуры масла в верхних слоях для каждой ступени нагрузки и превышения температуры обмоток, считая, что температура обмотки изменяется при изменении нагрузки скачком от одного установившегося значения к другому, а далее изменяется соответственно изменению температуры масла $\vartheta_м$, и определяют величину относительного износа изоляции для каждой ступени нагрузки, при этом должно быть выполнено условие $L_{ср} \leqslant 1$.

На рис. 3.1 представлен суточный график нагрузки. На графике выделяют участок длительностью Δt_1 не менее 10 ч, пред-

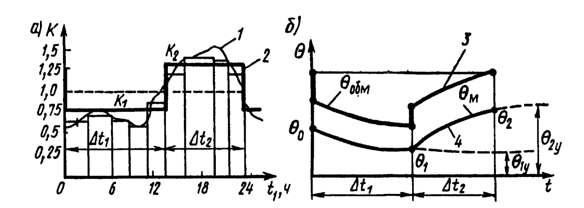


Рис. 3.1. Суточный график (*а*) нагрузки и диаграммы (*б*) изменения температур обмоток и масла:

1 — реальный график нагрузки; *2* — эквивалентный двухступенчатый график нагрузки; *3, 4* — кривые превышений температуры соответственно обмоток и масла

шествующий началу максимума нагрузки, и определяют коэффициент начальной нагрузки

$$K_1 = \sqrt{\frac{\beta_1^2 \Delta t_1 + \beta_2^2 \Delta t_2 + \ldots + \beta_n^2 \Delta t_n}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \ldots + \Delta t_n}}, \qquad (3.4)$$

где $\beta = I_n / I_{ном}$ — среднее значение тока в долях номинального на отрезке времени Δt_1, Δt_2, ..., Δt_n.

Аналогично определяется коэффициент K_2 превышения нагрузки.

Для эквивалентного двухступенчатого графика нагрузки определяют установившееся значение температуры масла для каждой ступени нагрузки ($\Theta_{1у}$, $\Theta_{2у}$) и находят

$$\begin{aligned}\Theta_1 &= \Theta_0 + (\Theta_{1у} - \Theta_0)(1 - e^{-\Delta t_1/T}),\\ \Theta_2 &= \Theta_1 + (\Theta_{2у} - \Theta_1)(1 - e^{-\Delta t_2/T}),\end{aligned} \qquad (3.5)$$

где T — постоянная времени нагрева трансформатора.

Далее определяют наибольшую температуру масла в верхних слоях $\vartheta_{м.в.с} = 1{,}2\Theta_2 + \vartheta_{эк}$, температуру обмотки в наиболее нагретой точке $\vartheta_{о.н.н.т} = \Theta_{02} + \Theta_2 + \vartheta_{эк}$, а также средний износ изоляции $L_{ср}$.

Аналогичные расчеты могут быть проведены для другого заполнения суточного графика.

Нагрузочная способность трансформатора может быть определена на основании графиков, приведенных в ГОСТ 14209—85, которые построены для различных значений K_1 и K_2 и учитывают эквивалентную температуру охлаждающей среды, постоянную времени трансформатора, систему охлаждения.

В аварийных ситуациях для трансформаторов с любой системой охлаждения допускают одну из следующих перегрузок сверх номинального тока (независимо от значения и длительности предшествующей нагрузки, температуры охлаждающей среды и места установки):

Перегрузка, %	30	45	60	75	100	200
Длительность перегрузки, мин	120	80	45	20	10	1,5

§ 3.3. Оперативное обслуживание трансформаторов

Контроль режима работы. Периодический контроль режима работы трансформатора осуществляется путем проверки нагрузки, уровня напряжения и температуры масла с помощью измерительных приборов. Результаты измерений параметров фиксируются в суточной ведомости: на электростанциях и подстанциях с постоянным дежурным персоналом измерения производятся с периодичностью в один—два часа; на подстанциях без постоянного дежурного персонала — при каждом посещении объекта разъездным оперативным персоналом или методом телеизмерений.

При возникновении перегрузки контроль ведется чаще.

Дополнительно на гидроэлектростанциях и подстанциях без постоянного дежурного персонала, не оснащенных устройствами телеизмерения, не менее двух раз в год (обычно летом и зимой) должны производиться почасовые записи нагрузки для уточнений сезонных изменений режима работы трансформатора.

Кроме того, осуществляется непрерывный автоматический контроль за перегрузкой.

Визуальный контроль состояния трансформатора. Для своевременного обнаружения неисправностей трансформаторов, которые при дальнейшем их развитии могут привести к авариям, все трансформаторы подвергаются периодическому внешнему осмотру (без отключения).

Плановые осмотры главных трансформаторов электростанций и подстанций, трансформаторов собственных нужд подстанций, трансформаторов в зоне загрязнения производятся не реже одного раза в сутки на установках с постоянным дежурством оперативного персонала и не реже одного раза в месяц на установках без постоянного дежурства; остальные трансформаторы должны осматриваться не реже одного раза в неделю на установках с постоянным дежурным персоналом, одного раза в месяц на установках без постоянного дежурства и одного раза в шесть месяцев на трансформаторных пунктах.

При плановом периодическом осмотре проверяется состояние внешней изоляции — вводов трансформатора, а также установленных на нем разрядников и опорных изоляторов (проверяется целостность фарфора, наличие трещин, степень загрязнения поверхности).

По маслоуказателям и масломерным стеклам определяют уровень масла в баке трансформатора и в расширителе, а также обращают внимание на цвет масла (потемнение масла может свидетельствовать, например, о термическом разложении вследствие повышенного нагрева).

Проверяется целостность мембраны выхлопной трубы, состояние доступных уплотнений фланцевых соединений, отсутствие течи масла.

Через смотровое стекло осматривается индикаторный силикагель в воздухоосушителях бака трансформатора и вводов. Изменение цвета от голубого до розового свидетельствует об увлажнении сорбента и необходимости перезарядки воздухоосушителя.

При осмотре контролируется состояние доступных для наблюдения контактных соединений.

Показателем состояния трансформатора может служить характер издаваемого им шума (прослушивание следует вести при остановленных вентиляторах). Свидетельством возможной неисправности служит потрескивание или щелчки, которые могут быть связаны с разрядами в баке (например, из-за обрыва заземления активной части), а также периодическое изменение уровня или тона шума.

Осмотры трансформатора следует проводить в светлое время суток или при включенном освещении, а также в темноте, когда выявляются дефекты, сами являющиеся источниками свечения: нагрев контактных соединений, коронные и другие виды частичных разрядов по поверхности внешней изоляции и др.

Внеочередные осмотры трансформаторов наружной установки

необходимо производить при экстремальных атмосферных условиях: резкое снижение температуры окружающего воздуха, ураган, сильный снегопад, гололед. При этом проверяются уровень масла, состояние вводов, системы охлаждения.

Внеочередные осмотры проводятся также после короткого замыкания обмоток (КЗ) или при появлении сигнала газового реле. В первом случае проверяется состояние токоведущих цепей, обтекавшихся током КЗ, а также изоляторов, перенесших воздействие динамических нагрузок, во втором — состояние газового реле и его цепей.

При необходимости внеочередной осмотр может производиться и с отключением трансформатора, в случае, когда необходимо более тщательное изучение элемента, состояние которого внушает сомнение, или когда доступ к проверяемому объекту невозможен без снятия напряжения.

Устройства релейной защиты, автоматики и сигнализации. Устройства релейной защиты, которыми снабжены силовые трансформаторы, должны реагировать на две группы событий: повреждение трансформатора и ненормальные режимы работы.

К повреждениям, вызывающим срабатывание релейной защиты, относятся межфазные и однофазные замыкания в обмотках и на выводах, витко́вые замыкания в обмотках, частичный пробой изоляции вводов, а также повреждения, связанные с выделением газа и повышением давления в баке трансформатора и регулировочного устройства.

К ненормальным режимам, на которые должны реагировать защиты трансформаторов, относятся появление сверхтоков, обусловленных либо внешними КЗ, либо перегрузками, а также понижение уровня масла.

Устройства релейной защиты устанавливаются в том же помещении, в котором находится щит управления, на специальных панелях. Для защиты трансформатора от повреждений в зависимости от мощности и характера установки применяются:

дифференциальная защита — основная защита мощных силовых трансформаторов от внутренних повреждений, она работает при КЗ внутри зоны, ограниченной двумя комплектами трансформаторов тока (принцип действия основан на сравнении значений и направления токов);

токовая отсечка без выдержки времени устанавливается на трансформаторах небольшой мощности, является самой простой быстродействующей защитой от внутренних повреждений;

защита от сверхтоков внешних КЗ (наиболее простой защитой этого вида является максимальная токовая защита);

защита от перегрузки выполняется с действием на сигнал и состоит из реле тока и реле времени.

Широкое распространение благодаря своей относительной простоте и чувствительности к большому числу внутренних по-

вреждений масляного трансформатора и его переключающего устройства получила газовая защита. Внутренние повреждения трансформатора, как правило, сопровождаются разложением масла и других изоляционных материалов с образованием летучих газов. Газы поднимаются к крышке трансформатора и попадают в расширитель через газовое реле, установленное на маслопроводе, соединяющем расширитель с баком. Существует несколько типов реле, устанавливаемых на трансформаторах в зависимости от их мощности.

Рассмотрим конструкцию газового реле на примере реле типа *BF*80/*Q* производства ГДР (рис. 3.2). Основой реле является корпус *1*, в верхней части которого скапливаются попавшие в реле пузырьки газа. Корпус снабжен двумя смотровыми застекленными окнами, позволяющими определить наличие газа и его приблизительный объем (по рискам на стекле). На крышке корпуса

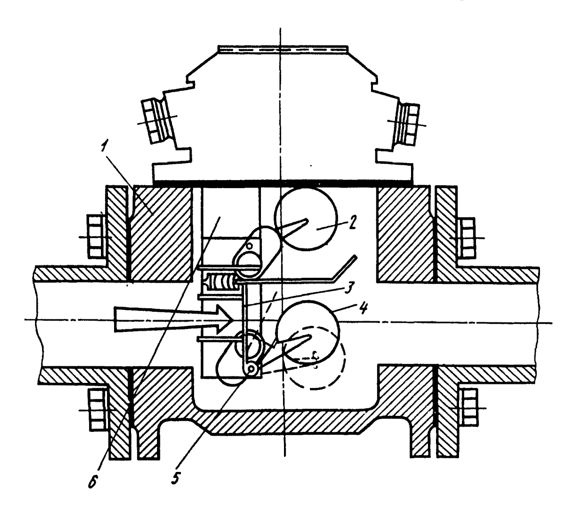


Рис. 3.2. Газовое реле

имеется кран для выпуска газа, в днище — отверстие для слива масла и шлама, заглушенное вывинчивающейся пробкой.

Изнутри на крышке закреплена выемная часть реле, состоящая из трех реагирующих элементов *2, 3, 4*, связанных с ними постоянных магнитов и управляемых этими магнитами герметичных контактов (герконов). Цепи герконов присоединены к выводам реле и специальным кабелем введены в релейную схему га-

зовой защиты трансформатора. Шарообразные пластмассовые пустотелые поплавки *2, 4* эксцентрично насажены на горизонтальную ось *5* и свободно вращаются на ней. Третий реагирующий элемент *3* имеет форму лопасти, также свободно вращающейся на горизонтальной оси, лопасть размещена рядом с нижним поплавком.

При медленном выделении газа, характерном для небольших повреждений, происходит постепенное вытеснение масла из полости *6* реле. При достижении определенного объема газа (250—300 см^3) верхний поплавок опускается и связанный с ним магнит замыкает соответствующий геркон. При полном уходе масла из реле аналогичным образом срабатывает нижний поплавок (например, при значительной течи из бака). При значительном повреждении, сопровождающемся бурным выделением газов, лопасть под давлением струи масла (показана стрелкой) или газомасляной смеси отклоняется на определенный угол, воздействуя на тот же контакт, что и нижний поплавок.

Таким образом, газовое реле способно различать степень повреждения трансформатора: геркон верхнего поплавка используется в качестве датчика сигнала, а геркон нижних элементов для подачи команды на отключение.

О причинах действия газовой защиты и о характере повреждения можно судить на основании исследования скопившегося в реле газа, определяя его количество, цвет и химический состав.

§ 3.4. Техническое обслуживание трансформаторов

Наиболее ответственным разделом технического обслуживания является эксплуатация трансформаторного масла, которое предназначено для изоляции находящихся под напряжением частей и узлов активной части трансформатора, для отвода тепла от нагревающихся при работе трансформатора частей, а также для предохранения твердой изоляции от быстрого увлажнения при проникновении влаги из окружающей среды.

Эксплуатационные свойства масла определяются его химическим составом, который зависит главным образом от качества сырья и применяемых способов его очистки при изготовлении.

Для заливки трансформатора рекомендуется применять масло определенной марки. Однако допускается при соблюдении ряда условий производить заливку трансформаторов смесью масел.

Каждая партия масла, применяемая для заливки и доливки, должна иметь сертификат предприятия-поставщика, подтверждающий соответствие масла стандарту. Для масла, прибывшего вместе с трансформатором, соответствие стандарту подтверждается записью в паспорте трансформатора. Состояние трансформаторного масла оценивается по результатам испытаний, которые в зависимости от объема делятся на три вида:

испытание на электрическую прочность, включающее определение пробивного напряжения, качественное определение наличия воды, визуальное определение содержания механических примесей;

сокращенный анализ, включающий кроме названных выше определение кислотного числа, содержание водорастворимых кислот, температуры вспышки и цвета масла;

испытания в объеме полного анализа, включающие в себя все испытания в объеме сокращенного анализа, а также определение tg δ, натровой пробы, стабильности против окисления, количественное определение влагосодержания и механических примесей.

Пробу для испытания отбирают в сухие чистые стеклянные банки вместимостью 1 л с притертыми пробками, на которых укрепляют этикетки с указанием оборудования, даты, причины отбора пробы, а также лица, отобравшего пробу. Как правило, проба отбирается из нижних слоев масла.

Методика испытания масла оговорена соответствующими стандартами (ГОСТ 6581—75, 6370—83, 1547—84, 6356—75). Качество масла, заливаемого в трансформаторы напряжением до 220 кВ, оценивается следующими показателями:

Кислотное число, мг КОН на 1 г масла, не более	0,02
Температура вспышки, °С, не ниже	150
tg δ, %, при. 90°С, не более	2,6
Натровая проба по ГОСТ 19296—73, баллы, не более	0,4
Стабильность против окисления:	
содержание летучих низкомолекулярных кислот, мг КОН на 1 г масла, не более	0,005
массовая доля осадка после окисления, %, не более	отсутствие
кислотное число окисленного масла, мг КОН на 1 г масла, не более	0,1
Температура застывания, °С, не выше	—45
Вязкость кинематическая, (м²/с)·10⁻⁶, не более	
при 20°С	28
при 50°С	9
при —30°С	1300

Пробивное напряжение масла в эксплуатации должно быть не менее 35 кВ/мм для трансформаторов классов напряжения 60—220 кВ, не менее 25 кВ/мм — для классов напряжения 20—35 кВ.

Периодичность испытаний масла должна быть такой, чтобы своевременно выявить недопустимое ухудшение характеристик масла, вызванное воздействием температуры, повышенных напряженностей поля, содержащегося в масле кислорода, контактирования с металлами (сталью, медью) и изоляционными деталями, а также воздействием случайных или непредусмотренных явлений (нарушение технологии изготовления, присутствие посторонних примесей и др.).

Рекомендуются следующие объем и периодичность испытаний масла:

перед первым включением трансформатора в работу — проверка масла в объеме сокращенного анализа для трансформаторов напряжением до 35 кВ включительно и в объеме сокращенного анализа с измерением $\mathrm{tg}\,\delta$ и влагосодержания масла — для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше; для трансформаторов с азотной или пленочной защитой дополнительно контролируются газосодержание масла и состав газов в надмасляном пространстве;

в приработочный период, а именно через 10 дней и через месяц для трансформаторов 110—220 кВ, а для трансформаторов 330 кВ и выше также и через три месяца, проводятся испытания в том же объеме, как перед включением; кроме того, через трое суток после включения и далее через 14 сут, один, три и шесть месяцев у всех трансформаторов напряжением 110 кВ и выше производится хроматографический анализ газов, растворенных в масле.

При дальнейшей эксплуатации испытания масла производят в соответствии с периодичностью текущих ремонтов.

Непосредственный контакт масла трансформатора или маслонаполненного ввода с атмосферным воздухом приводит к постепенному насыщению масла кислородом и увлажнению как масла, так и твердой изоляции. В результате увлажнения масла снижается его электрическая прочность, а насыщение кислородом приводит к ускоренному развитию окислительных процессов (старению).

Для удаления из масла влаги используют следующие способы:

центрифугирование масла (влага и механические примеси удаляются при помощи специальных центрифуг, работающих по принципу отделения составных частей под действием центробежных сил);

фильтрование (очистка масла продавливанием его через пористую среду в фильтр-прессах);

осушка масла в цеолитовых установках (адсорбционный метод), основанный на поглощении воды и других примесей синтетическим цеолитом, являющимся адсорбентом; масло однократно фильтруют через слой молекулярных сит — искусственных цеолитов типа NaA.

Защита масла от увлажнения и старения. Для защиты масла от увлажнения и старения в процессе эксплуатации трансформатора в его конструкции используется ряд специальных устройств, а именно: расширитель, воздухоосушители, адсорбционные и термосифонные фильтры, устройства азотной и пленочной защиты. Кроме того, для повышения стабильности масел применяют специальные антиокислительные и стабилизирующие присадки.

Адсорбционные масляные фильтры предназначены для непре-

рывной регенерации масла трансформатора в процессе его эксплуатации с циркуляционной (Ц) и дутьевой циркуляционной (ДЦ) системами охлаждения, обеспечивающими принудительную циркуляцию масла через фильтр. Аналогичные фильтры на трансформаторах с естественной масляной (М) и дутьевой (Д) системами охлаждения, когда циркуляция масла в фильтре обеспечивается только за счет разностей плотности нагретого и охлажденного масла, называют термосифонными. Количество сорбента в термосифонном фильтре должно составлять около 1% массы масла в трансформаторе.

Принцип устройства пленочной защиты заключается в наиболее полном удалении влаги и газа из изоляции и масла и их полной герметизации за счет установки в расширитель эластичной емкости, которая служит для компенсации температурного изменения объема масла при работе трансформатора.

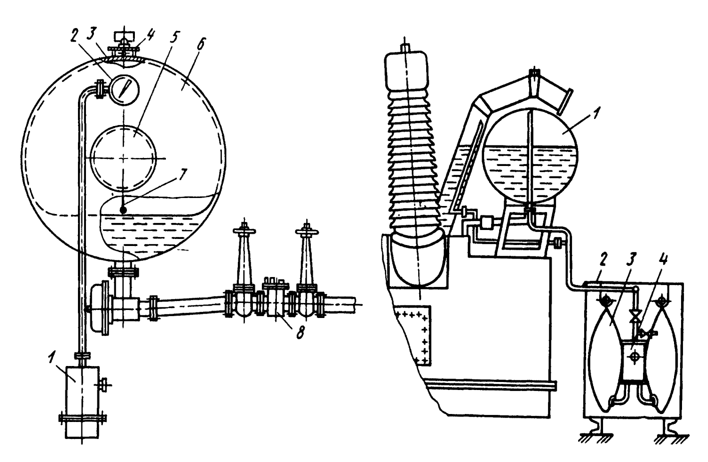


Рис. 3.3. Устройство пленочной защиты:

1 — воздухоосушитель; 2 — стрелочный маслоуказатель; 3 — эластичная емкость; 4 — подсоединительный патрубок; 5 — монтажный люк; 6 — расширитель; 7 — реле поплавкового типа; 8 — газовое реле

Рис. 3.4. Устройство азотной защиты:

1 — надмасляное пространство расширителя; 2 — шкаф; 3 — мягкий резервуар; 4 — азотоосушитель

Эластичная емкость, подвешенная внутри расширителя, плотно прилегает к внутренней поверхности расширителя и масла (рис 3.3) и обеспечивает герметизацию масла от окружающей среды. Одновременно внутренняя полость эластичной емкости соединена патрубком с окружающим воздухом через воздухо-

осушитель, который препятствует конденсации влаги на ее внутренней поверхности.

В трансформаторах с пленочной защитой вместо предохранительной трубы устанавливают предохранительные клапаны, позволяющие обеспечить более надежную герметизацию.

Азотная защита заключается в том, что микропустоты в изоляции и масле, образующиеся в результате тщательного удаления из них воздуха, а также надмасляное пространство заполняют сухим азотом и герметизируют от окружающей среды при помощи мягких резервуаров, служащих для компенсации температурных изменений объема масла при работе трансформатора (рис. 3.4).

§ 3.5. Текущий ремонт трансформаторов

Текущие ремонты предназначены для проверки состояния ограниченного числа быстроизнашивающихся и относительно несложных в ремонте узлов и деталей с устранением обнаруженных дефектов, чтобы обеспечить безотказную работу трансформатора до следующего планового (текущего или капитального) ремонта. При текущем ремонте производятся осмотр и чистка узлов и деталей (как правило, относительно легкодоступных), в том числе загрязненной внешней изоляции, ликвидация небольших дефектов, замена неосновных узлов и деталей, а также проводятся измерения, испытания и осмотры с целью выявления и уточнения работ, подлежащих выполнению в ходе капитального ремонта.

Проводится комплекс работ по уходу за трансформаторным маслом, в который входит: спуск грязи и конденсата из расширителя; проверка маслоуказателя и доливка при необходимости масла в расширитель; проверка и смена сорбента в термосифонном (адсорбционном) фильтре и воздухоосушителях; аналогичные работы выполняются на маслонаполненных вводах.

Производят очистку наружных поверхностей бака и крышки, проверку спускных кранов и уплотнений, целостность мембраны выхлопной трубы, предохранительного клапана. Осматриваются охлаждающие устройства, выполняется очистка их наружных поверхностей. Проверяют и смазывают подшипники вентиляторов, электродвигателей, насосов.

Осматривают и проверяют устройства регулирования под нагрузкой (привод, контактор), а также переключатель регулирования без возбуждения. Проверяют устройства релейной защиты, приборы контроля температуры и давления масла, систему азотной защиты, соответствующие вторичные цепи.

Одновременно с текущим ремонтом трансформатора производят проверки и опробование устройств его защиты и автоматики, в том числе автоматики и сигнализации систем охлаждения и пожаротушения.

В ходе текущего ремонта выполняются испытания изоляции и контактных соединений, в том числе сопротивления контактов переключателей ответвлений (на всех положениях).

Следует заметить, что сопротивление изоляции трансформаторов в эксплуатации измеряют при текущих ремонтах в тех случаях, когда специально для этого не требуется расшиновка трансформатора. Сопротивление изоляции измеряют при испытаниях, имеющих целью выяснение состояния трансформатора при появлении признаков неисправности.

Оценка состояния изоляции при текущем ремонте трансформатора производится в таком же объеме, как при вводе трансформатора в эксплуатацию.

Обычно совмещают измерение характеристик изоляции трансформатора и его вводов.

Контрольные вопросы

1. Какие мероприятия относятся к оперативному и техническому обслуживанию трансформаторов?
2. Что понимают под нагрузочной способностью трансформатора?
3. Чем ограничивается допустимость систематических и аварийных перегрузок трансформатора?
4. Каким образом определяется допустимость систематических перегрузок?
5. Каково назначение устройств релейной защиты, автоматики и сигнализации, устанавливаемых на силовых трансформаторах?
6. Каким образом классифицируются испытания трансформаторного масла в зависимости от их объема?
7. Как защитить масло от увлажнения и старения?
8. С какой целью проводится текущий ремонт трансформатора и какие работы выполняют в процессе этого ремонта?

ГЛАВА 4
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В процессе эксплуатации электрические машины подвержены износу и моральному старению, что приводит к отказам в работе. Для устранения износов периодически проводятся ремонты, позволяющие поддерживать на высоком уровне работоспособность машин. Для устранения морального старения путем улучшения их энергетических показателей проводят модернизацию электрических машин во время очередного капитального ремонта. Важную роль при эксплуатации играет правильный выбор электрических машин и защита их при аварийных режимах, возникающих в электрической сети, приводном механизме и в самой машине. Выполнение указанных рекомендаций позволяет обеспечить безаварийную работу электрических машин и продлить ресурс их работы.

§ 4.1. Организация обслуживания электрических машин

В процессе эксплуатации важное место занимают обслуживание машин перед вводом их в эксплуатацию, перед пуском, в процессе работы, после остановки; плановое проведение текущих

и капитальных ремонтов и профилактические (межремонтные) испытания.

Профилактические испытания позволяют обнаружить неисправности, которые не всегда можно выявить внешним осмотром, поскольку они не имеют внешних проявлений. При этих испытаниях проверяют сопротивление изоляции электрических машин и пускорегулирующей аппаратуры, срабатывание защиты машин напряжением до 1000 В в сетях с заземленной нейтралью и устройства защитного отключения. При проверке сопротивления изоляции электрических машин напряжением до 1000 В используются мегаомметры класса 1000 В, при более высоком напряжении — класса 2500 В.

В связи с большим разнообразием работ по техническому обслуживанию ограничимся лишь типовым объемом, который включает в себя: ежедневный надзор за выполнением правил эксплуатации и инструкций завода-изготовителя (контроль нагрузки, температуры отдельных узлов электрической машины, температуры охлаждающей среды при замкнутой системе охлаждения, наличия смазки в подшипниках, отсутствия повышенных шумов и вибраций, чрезмерного искрения на коллекторе и контактных кольцах и др.); ежедневный контроль за исправностью заземления; отключение электрических машин в аварийных ситуациях; мелкий ремонт, осуществляемый во время перерывов в работе основного технологического оборудования и не требующий специальной остановки электрических машин (подтяжка контактов и креплений, замена щеток, регулирование траверс, подрегулировка пускорегулирующей аппаратуры и системы защиты, чистка доступных частей машины и т. д.); приемо-сдаточные испытания после монтажа, ремонта и наладки электрических машин и систем их защиты и управления; плановые осмотры эксплуатируемых машин по утвержденному главным энергетиком графику с заполнением карты осмотра.

Большое влияние на работу электрических машин оказывает рабочая температура отдельных узлов. Так как элементы электрических машин выполняются из материалов с различными коэффициентами температурного расширения, то при больших нагревах в изоляции могут появляться большие термомеханические напряжения, вызывающие соответственно большие механические деформации изоляции обмоток. Особенно чувствительна к нагреву изоляция на органической основе (бумага, пряжа, тканые материалы).

На практике применяются два метода контроля за нагревом — косвенный и непосредственный.

Косвенный метод контроля. При использовании этого метода следят не за самой температурой (превышением температуры) отдельных узлов электрической машины, а за нагрузкой и температурой охлаждающей среды. Обычно если нагрузка не пре-

восходит номинальную и температура охлаждающей среды не выше допустимой, то при эксплуатации не следует опасаться недопустимых перегревов. Этот метод контроля широко применяется для машин малой и средней мощности.

Непосредственный метод контроля. Этот метод основан на измерении температуры (превышении температуры) отдельных частей машины с помощью индикаторов различного вида — термометров, терморезисторов, термопар. Можно использовать для этих целей и измерения сопротивления обмоток на постоянном токе и по величине сопротивления обмотки судить о ее температуре.

Все указанные методы должны удовлетворять требованию о возможности их применения на работающем оборудовании.

§ 4.2. Виды и причины износов электрических машин

В процессе эксплуатации электрические машины изнашиваются и условно можно выделить три вида износа по характеру физических процессов, лежащих в его основе: механический, электрический и моральный.

Механический износ. Этот вид износа является следствием длительных знакопостоянных или знакопеременных механических воздействий на отдельные части и детали электрических машин. В результате этих воздействий их первоначальные формы и качество ухудшаются. Например, износ трущихся деталей электрических машин — коллектора, контактных колец, подшипников, шеек валов и др.

Электрический износ. Такой вид износа приводит к невосстановимой потере электроизоляционными материалами своих изоляционных свойств и ему подвержены изоляция проводов, пазовая, лобовых частей и выводов электрических машин. Электрическому износу способствует высокая рабочая температура, наличие в окружающей среде химически активных веществ, пыли и т. п. В результате этих воздействий происходит пробой изоляции, а на частях электрооборудования, не находящихся нормально под напряжением, могут появляться высокие электрические потенциалы. Устранение этих повреждений требует, как правило, капитального ремонта машины.

Моральный износ. Этот вид износа обусловлен появлением нового оборудования, имеющего более высокие технико-экономические показатели. В этих условиях дальнейшая эксплуатация устаревшего оборудования является нецелесообразной, так как приводит к увеличению стоимости выпускаемой на нем продукции. Изменением конструкции и улучшением технических показателей такого оборудования при капитальном ремонте в процессе модернизации можно продлить сроки его экономически оправданной эксплуатации.

Приведенная классификация износов электрооборудования является условной, так как все три типа износа нельзя рассматривать изолированно друг от друга. На механический износ токоведущих частей сильное влияние оказывают уровни электромагнитных нагрузок, определяющих уровень механических вибраций и усилий; на электрический износ изоляции значительное влияние оказывают чисто механические факторы (давление щетки, внешние вибрации, абразивный износ изоляции и др.). Степень механического и электрического износа, с другой стороны, определяет и степень морального износа, поскольку определяет энергетические характеристики электрических машин.

Тем не менее раздельный анализ видов износа позволяет более четко выявить физические факторы, лежащие в основе этих явлений, с целью выработки мероприятий, направленных на ослабление их влияния на работу машины.

§ 4.3. Неисправности электрических машин

Электрические машины чаще всего повреждаются из-за недопустимо длительной работы без ремонта, плохого хранения, обслуживания и нарушения режима работы, на который они рассчитаны. Отказы можно разделить на электрические и механические.

Электрические отказы. К ним относятся отказы из-за пробоя изоляции на корпус и между фазами, обрыва проводников в обмотке, замыкания между витками обмотки, нарушения контактов и соединений (паяных и сварных), недопустимого снижения сопротивления изоляции вследствие ее старения или чрезмерного увлажнения, нарушения межлистовой изоляции магнитопроводов, чрезмерного искрения в коллекторных машинах.

Если часть обмотки ротора замкнута на корпус (пробой изоляции на корпус), то при пуске асинхронного двигателя медленно увеличивается частота вращения, а сам ротор сильно нагревается даже при небольшой нагрузке. К тем же явлениям приводит нарушение изоляции между контактными кольцами и валом ротора.

Пробой изоляции между фазами приводит к короткому замыканию в обмотке, при коротком замыкании обмотки статора наблюдаются сильные вибрации двигателя переменного тока, низкочастотный шум, несимметрия токов в фазах и быстрый нагрев отдельных участков обмотки. В случае короткого замыкания обмотки фазного ротора наблюдается такой же эффект, как при нарушении изоляции между контактными кольцами и валом.

При обрыве проводников в обмотке статора асинхронного двигателя наблюдаются несимметрия токов и быстрый нагрев одной из фаз (крайний режим — обрыв фазы, в этом случае ротор не вращается или его скорость мала). Обрыв стержня коротко-

замкнутой обмотки ротора приводит к повышенным вибрациям, уменьшению частоты вращения под нагрузкой, пульсациям тока статора последовательно во всех фазах.

Витковое короткое замыкание обмотки статора или ротора приводит к повышенному перегреву электрической машины при номинальной нагрузке.

Нарушение контактов паяных или сварных соединений в асинхронных двигателях эквивалентно по своему проявлению обрыву витков стержней короткозамкнутых обмоток или фазы обмотки в зависимости от места нахождения данного соединения. Нарушение контакта в цепи щеток приводит к повышенному искрению между контактными кольцами и щетками.

Недопустимое снижение сопротивления изоляции может быть следствием ее сильного загрязнения, увлажнения и частичного разрушения вследствие старения.

Нарушение межлистовой изоляции сердечников магнитопроводов приводит к недопустимому превышению температуры отдельных участков магнитопровода и всего магнитопровода в целом, повышенному нагреву обмоток, выгоранию части магнитопровода (пожар в стали).

Механические отказы. К ним относятся отказы из-за выплавки баббита в подшипниках скольжения, разрушения сепаратора, шариков или роликов в подшипниках качения, деформации вала ротора, образования глубоких дорожек на поверхности коллектора или контактных колец, ослабления крепления сердечников полюсов и статоров к станине, обрыва бандажей или их сползания, ослабления прессовки сердечников, ухудшения охлаждения машины из-за засорения охлаждающих каналов.

Неисправности и повреждения электрических машин, вызывающие отказ, не всегда удается обнаружить путем внешнего осмотра, так как некоторые из них (в основном электрические) носят скрытый характер и могут быть обнаружены только после соответствующих испытаний и разборки машины, т. е. в процессе дефектации (см. подробнее § 7.5).

Выплавка баббита в подшипниках скольжения и чрезмерный износ подшипников качения приводят к нарушению соосности валов электрической машины и механизма, к появлению эксцентриситета ротора. Первая из причин вызывает повышение вибраций электрической машины, которые не исчезают после отключения ее от сети, вторая приводит к появлению больших сил одностороннего притяжения, в результате чего двигатель не развивает номинальной скорости, а его работа сопровождается низкочастотным шумом. Повышенные вибрации могут являться также следствием нарушения уравновешенности вращающихся частей (ротора, полумуфт или шкива). Деформация вала ротора приводит к появлению эксцентриситета ротора и появлению больших сил одностороннего притяжения.

Ослабление крепления полюсов и сердечников статоров приводит к повышенным вибрациям, исчезающим после отключения машины от сети. Ослабление прессовки магнитопровода вызывает появление низкочастотного шума машины и ее повышенные вибрации. Засорение охлаждающих (вентиляционных) каналов приводит к недопустимым перегревам электрической машины в целом и (или) ее отдельных частей.

Выработка коллектора и контактных колец приводит к ухудшению коммутации, быстрому износу щеток и повышенному нагреву контактных колец и коллектора.

Как видно из анализа приведенных возможных неисправностей электрических машин и их влияния на рабочие свойства последних, одни и те же эффекты могут быть вызваны различными причинами. Это часто не позволяет однозначно назвать неисправность электрической машины по ее внешнему проявлению, а ограничиться перечнем возможных неисправностей, которые будут уточняться при дефектировке с целью последующего их устранения.

§ 4.4. Выбор защиты электродвигателей

Правильный выбор и настройка защиты электродвигателей позволяет продлить ресурс их работы, обеспечить безаварийную работу и повысить их надежность в эксплуатации. С другой стороны, применение защиты увеличивает стоимость двигателя, поэтому выбор типа и количества защит определяется не только технической, но и экономической целесообразностью.

Предусматриваются следующие виды защиты электродвигателей напряжением до 1000 В: от минимального напряжения и многофазных, а в сетях с глухозаземленной нейтралью от однофазных коротких замыканий; от коротких замыканий и недопустимого повышения частоты вращения (для двигателей постоянного тока); от перегрузки и для синхронных двигателей от асинхронного режима.

Для электродвигателей переменного тока напряжением свыше 1000 В и различными системами охлаждения обмоток и активной стали дополнительно предусматриваются: защита, действующая на сигнал и отключение при повышении температуры смазки сверх допустимого значения или прекращении ее циркуляции; защита, действующая на сигнал и отключение при повышении температуры обмоток сверх допустимого значения или прекращении вентиляции и защита, действующая на сигнал при снижении циркуляции воды ниже заданного значения, и на отключение при прекращении ее циркуляции.

Для блоков «трансформатор (автотрансформатор) — двигатель» предусматривается общая защита их от многофазных замыканий, а для синхронных электродвигателей — автоматическое

гашение поля (для синхронных двигателей мощностью менее 500 кВт автоматического гашения поля, как правило, не требуется).

Для защиты электродвигателей от коротких замыканий должны применяться предохранители или автоматические выключатели.

Защита от перегрузки используется в случаях, когда возможна перегрузка механизма по технологическим причинам, а также при тяжелых условиях пуска с целью ограничения длительности пуска при пониженном напряжении. Защита выполняется с выдержкой времени на тепловых реле и действует на отключение или сигнал.

Защита от минимального напряжения устанавливается для двигателей постоянного тока, которые не допускают непосредственного включения в сеть, и для электродвигателей механизмов, самозапуск которых после остановки недопустим по условиям технологического процесса или по условиям безопасности. На многоскоростных двигателях ответственных механизмов, самозапуск которых допустим и целесообразен, защита от минимального напряжения должна автоматически переключать двигатель на низшую скорость.

Защита от асинхронного режима синхронных двигателей должна, как правило, осуществляться с помощью защиты от перегрузки по току статора для двигателей напряжением до 1000 В. Для двигателей с напряжением выше 1000 В эта защита может осуществляться с помощью реле, реагирующего на увеличение тока в обмотках статора, она должна быть отстроена по времени от пускового режима и от тока при действии форсировки возбуждения.

Контрольные вопросы

1. Назовите методы контроля за нагревом электрических машин. В чем их различие?
2. Каковы причины механического (электрического) износа электрических машин?
3. Что понимается под «моральным» износом?
4. Каковы характерные механические (электрические) отказы электрических машин?
5. Каковы проявления электрических и механических отказов?
6. Какие виды защиты предусматриваются для двигателей переменного тока напряжением до (свыше) 1000 В?
7. В каких случаях устанавливается защита от перегрузки?
8. Как осуществляется защита от асинхронного хода синхронных двигателей?

ГЛАВА 5

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

При организации электроремонтного предприятия следует учитывать размеры обслуживаемого района, расположение обслуживаемых объектов и величину их ремонтного фонда и условия обеспечения предприятия электроэнергией, водой, топливом и рабочей силой. Наряду с организацией территориальных электроремонтных предприятий организуются ремонтные заводы и крупные цехи по ведомственной принадлежности. При такой структуре ремонтного производства снижается номенклатура ремонтируемых изделий, что позволяет создавать обменные фонды по всей номенклатуре, вводить на ремонтных предприятиях специализированное оборудование для увеличения производительности труда.

§ 5.1. Определение трудоемкости ремонта и численности персонала

Для планирования производства и определения годовой программы ремонтного предприятия необходимо иметь сведения о количестве, мощности, режимах и условиях работы электрооборудования, которое будет обслуживаться этим предприятием, с учетом возможного развития обслуживаемых предприятий района (обычно на 5—7 лет вперед).

Все электрические машины, находящиеся в эксплуатации, разделяются на группы в зависимости от типа, мощности (малой — до 1,1 кВт, средней — 100—400 кВт и большой — свыше 400 кВт), напряжения (низковольтные — до 1000 В и высоковольтные — свыше 1000 В), исполнения и длительности межремонтного периода. При наличии указанных сведений по номенклатуре машин, подлежащих ремонту, годовая производительность электроремонтного завода в единицах продукции

$$P_е = K_р\left(\frac{A_1}{n_1} + \frac{A_2}{n_2} + \ldots + \frac{A_n}{n_n}\right), \quad (5.1)$$

где A_1, A_2, ..., A_n — количество электрических машин в каждой группе; n_1, n_2, ..., n_n — длительность межремонтного периода (средняя) для каждой группы машин (см. прилож. 8); $K_р$ — коэффициент, учитывающий развитие предприятий обслуживаемого района, а также возможные внезапные отказы электрических машин (обычно принимают $K_р = 1{,}3 \div 1{,}6$).

Объем работ ремонтного предприятия в денежном выражении

$$P_д = a_1 p_1 + a_2 p_2 + \ldots + a_n p_n, \quad (5.2)$$

где p_1, p_2, ..., p_n — стоимость ремонта по каждой группе электрических машин в соответствии с действующим прейскурантом; a_1, a_2, ..., a_n — количество электрических машин (по группам), проходящих ремонт за год.

Годовая трудоемкость работ по ремонту рассматриваемого парка электрических машин

$$T_1 = a_1 m_1 + a_2 m_2 + \ldots + a_n m_n, \qquad (5.3)$$

где m_1, m_2, ..., m_n — нормативное время ремонта по каждой группе машин.

Нормативное время (трудоемкость) ремонта зависит от типа электрической машины, частоты вращения, напряжения, вида ремонта. Для асинхронных двигателей с короткозамкнутой обмоткой ротора напряжением до 660 В включительно, частотой вращения 1500 об/мин и мощностью до 630 кВт можно рекомендовать нормы трудоемкости, приведенные в табл. 5.1. Для расчета норм трудоемкости ремонта электрических машин других типов и асинхронных машин с другой частотой вращения и другим напряжением можно пользоваться коэффициентами трудоемкости, приведенными в табл. 5.1, умножая их на соответствующие поправочные коэффициенты. Эти коэффициенты равны для частот вращения 3000; 1500; 1000; 750; 600 и 500 об/мин соответственно 0,8; 1,0; 1,1; 1,2; 1,4 и 1,5; для напряжений до 3,3 и до 6,6 кВ соответственно 1,7 и 2,1 и для коллекторных и синхронных машин и двигателей с фазным ротором (погружных, взрывозащищенных, креновых и многоскоростных) соответственно 1,8; 1,2 и 1,3.

Таблица 5.1

Мощность электрической машины, кВт	Нормы трудоемкости ремонта, чел·ч			Мощность электрической машины, кВт	Нормы трудоемкости ремонта, чел·ч		
	Капитальный с полной заменой обмоток	Капитальный без перемотки обмоток	Текущий		Капитальный с полной заменой обмоток	Капитальный без перемотки обмоток	Текущий
До 0,8	11	6	2	56—75	69	37	15
0,8—1,5	12	6	2	76—100	85	44	18
1,6—3,0	13	7	3	101—125	110	57	22
3,1—5,5	15	8	3	126—160	130	68	27
5,6—10	20	11	4	161—200	140	75	30
11—17	27	14	6	201—250	155	82	33
18—22	32	17	7	251—320	175	92	36
23—30	40	21	8	321—400	195	102	40
31—40	47	25	10	401—500	225	120	44
41—55	55	29	12	501—630	260	135	52

Например, для синхронного двигателя мощностью 500 кВт, напряжением 3,3 кВ и частотой вращения 375 об/мин норма трудоемкости капитального ремонта будет равна (в соответствии с данными, приведенными в табл. 5.1)

$$m = 225 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}7 \cdot 1{,}2 = 690 \text{ чел·ч}.$$

Количество производственных рабочих, необходимых для выполнения годовой программы T,

$$N = T/\Phi, \quad (5.4)$$

где Φ — годовой фонд времени[1] одного рабочего (исчисляется исходя из числа рабочих дней в году, их продолжительности, длительности отпуска).

При проектировании электроремонтных цехов за условную единицу ремонта принимается трудоемкость ремонта одного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора мощностью 5 кВт исполнения IP23 на напряжение 220/380 В и частоту вращения 1500 об/мин. Трудоемкость капитального ремонта такого двигателя составляет 8,2 чел·ч, текущего — 3,6. При отсутствии точных данных по структуре электродвигателей их количество определяется в зависимости от общего количества станков, установленных на предприятии. Для перехода к двигателям условной мощности 5 кВт количество станков на предприятии следует умножить на коэффициент, зависящий от типа предприятия:

Автомобильные заводы	2,8—3,2
Заводы тяжелого машиностроения	3,5—4,5
Подшипниковые заводы	3,0—3,2
Заводы станкоинструментальной промышленности	3,0—3,5
Заводы электротехнической промышленности . .	3,0—3,2
Заводы строительного, дорожного и коммунального машиностроения	3,3—4,3

Если известна средняя мощность установленных двигателей, и она отличается от 5 кВт, то приведение к условной мощности 5 кВт осуществляется с помощью коэффициентов приведения:

Средняя мощность, кВт	*Коэффициент приведения*
1	0,69
3	0,78
5	1,0
7	1,19
10	1,25
15	1,5
20	1,8
30	2,1
40	2,2
55	2,3
75	3,7
100	4,6

Рассчитанную по такой методике трудоемкость ремонта следует увеличить на 30% для учета вспомогательного электрооборудования (вентиляторы, машины постоянного тока и т. п.).

[1] Годовой фонд времени при 41-часовой рабочей неделе равен 1860 ч при 15-дневном отпуске, 1840 ч — при 18-дневном, 1820 ч — при 24-дневном. Количество рабочих дней в году при пятидневной рабочей неделе принимается равным 253.

По известному количеству основных рабочих электроремонтного цеха N определяется количество вспомогательных рабочих — (0,15—0,18)N, инженерно-технических работников — (0,08—0,12) от числа основных и вспомогательных рабочих, служащих и младшего обслуживающего персонала — (0,025—0,04) от числа основных и вспомогательных рабочих.

Примерное распределение рабочих по профессиям выглядит следующим образом, %: электрообмотчики — 40, электрослесари — 37, электромонтеры испытательной станции — 3, станочники — 5, пропитчики — 4, остальные — 11.

§ 5.2. Структура электроремонтного предприятия

Структура электроремонтного предприятия и состав его оборудования определяются рядом факторов, основными из которых являются номенклатура и объем ремонтируемого оборудования. Что касается электрических машин, то предприятия по их ремонту в большинстве случаев не выходят за рамки одного цеха. Поэтому структура электроремонтного предприятия будет рассматриваться применительно к цеховой форме организации ремонта.

Все работы, проводимые в цехе по ремонту электрических машин, можно разбить на семь основных видов: предремонтные и послеремонтные, разборочно-дефектировочные, изоляционно-обмоточные, слесарно-механические, комплектование деталей, сборка машины и отделочные.

Соответствующая типовая структурно-технологическая схема ремонта показана на рис. 5.1.

Испытательная станция. Здесь производят предремонтные испытания для выявления неисправностей. Они включают помимо внешнего осмотра следующие пункты: измерение сопротивления изоляции обмоток, испытание электрической прочности изоляции, проверка целости подшипников (на холостом ходу) и осевого выбега ротора, правильности прилегания щеток к коллектору и контактным кольцам, измерение вибрации (в режиме холостого хода). Кроме того, определяется воздушный зазор, проверяется состояние крепежных деталей, плотность посадки подшипниковых щитов и отсутствие повреждений у отдельных частей машины.

Здесь же проводят испытания новых конструкций, узлов и деталей, предназначенных взамен вышедших из строя, а также послеремонтные испытания электрических машин. Станция должна быть оснащена высоковольтным испытательным оборудованием, электрическими приборами и защитными средствами.

Разборочное отделение. Здесь выполняют все предремонтные испытания, очищают электрические машины перед разборкой, разбирают их на отдельные узлы, производят дефектацию узлов и деталей (определение состояния и степени износа, объема необходимого ремонта и оформление соответствующей документации

на ремонт), передают неисправные узлы и детали в соответствующие ремонтные отделения, а исправные — в отдел комплектации. В этом отделении устанавливают подъемно-транспортные устройства для транспортировки поступивших электрических машин,

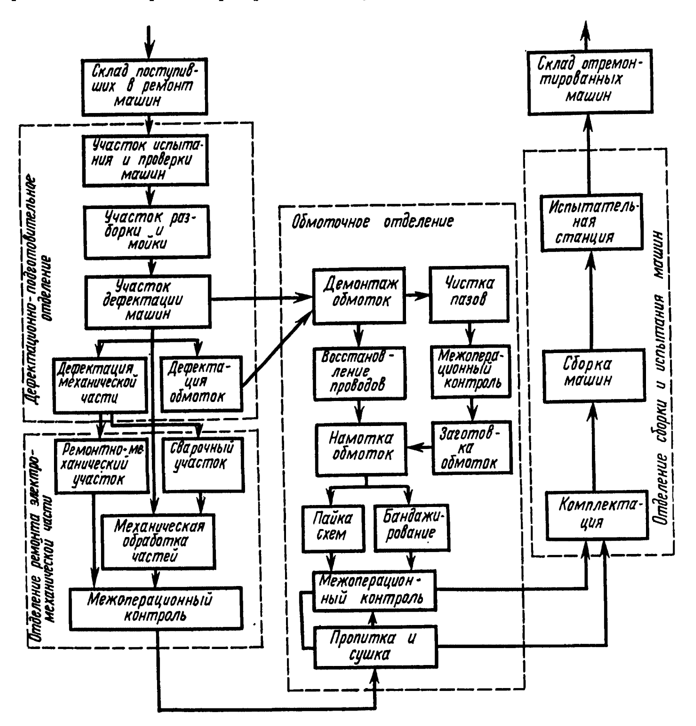


Рис. 5.1. Типовая структурно-технологическая схема ремонта электрических машин

моечное оборудование, гидравлические и винтовые съемники, приспособления для вывода ротора из расточки статора, станок для обрезки лобовых частей обмотки и извлечения обмотки из пазов, печь для нагрева изоляции, специальную оснастку для разборки электрических машин.

Обмоточное и сушильно-пропиточное отделение. Здесь ремонтируют старые и изготовляют новые обмотки электрических машин, восстанавливают поврежденный обмоточный провод; про-

питывают, укладывают в машину и сушат обмотки, производят сборку рабочей схемы соединения обмоток и проводят пооперационный контроль изоляции обмоток. В этом отделении устанавливаются станки для очистки и изолировки проводов, для намотки катушек, для резки изоляции, приспособления для формовки изоляции и катушек из прямоугольного провода, инструмент для сварки и пайки проводов обмотки, специальный станок для бандажировки обмоток якоря и фазных обмоток ротора. Здесь же находится испытательный стенд для измерения сопротивления изоляции и проверки ее электрической прочности. Участок пропитки и сушки обмоток снабжается системой вытяжной вентиляции. Подъемно-транспортное оборудование должно быть рассчитано на узлы, имеющие максимальную массу.

На участке окраски и сушки, снабженном необходимым оборудованием, как правило, проводятся отделочные работы.

Слесарно-механическое отделение. Здесь ремонтируют и изготовляют новые детали электрических машин, как конструктивные (валы, подшипники скольжения, крышки подшипников и т. д.), так и токоведущие (коллекторы, контактные кольца, щеточные механизмы, короткозамкнутые обмотки роторов и др.), производят перешихтовку сердечников статоров и роторов, а также слесарную и механическую обработку различных деталей электрических машин. Отделение оснащено соответствующим парком станков для механической обработки деталей, подъемно-транспортным оборудованием, прессами, ножницами для резки металла, сварочным оборудованием, специальным инструментом.

Комплектовочное отделение. Сюда направляют исправные узлы и детали электрических машин из разборочного отделения, отремонтированные узлы и детали из обмоточного и слесарно-механического отделений, производят комплектацию электрических машин недостающими частями. Проверенные и полностью скомплектованные электрические машины передают в отделение сборки (отдельные крупные узлы могут передаваться на участок сборки минуя комплектовочный участок).

Сборочное отделение. Здесь производится поузловая и общая сборка электрических машин. Участок сборки оснащен практически тем же вспомогательным оборудованием, что и разборочное отделение. Поэтому на ряде электроремонтных предприятий эти отделения объединяют. В отличие от разборочного отделения в отделении сборки проводится балансировка роторов электрических машин, что требует установки балансировочных станков.

§ 5.3. Организация ремонта трансформаторов

Трансформаторы принято считать самыми надежными элементами в энергетической системе. В сравнении с другими видами энергетического и электротехнического оборудования (котлы,

турбины, вращающиеся электрические машины) трансформаторы отличаются высокой надежностью в эксплуатации.

Однако эта надежность достигается только при соблюдении всех правил транспортировки, хранения, монтажа, эксплуатации, а также технологической дисциплины производства трансформатора.

Общие правила организации ремонта рассмотрены выше применительно к электрическим машинам.

Стационарный ремонт трансформаторов следует производить в цехе электроремонтного предприятия или специализированного завода.

В настоящее время разработан и постепенно внедряется наиболее совершенный поточный метод ремонта с применением конвейерных принципов для наиболее трудоемких операций. Технологические операции и приемы при таком методе аналогичны заводским или максимально к ним приближены.

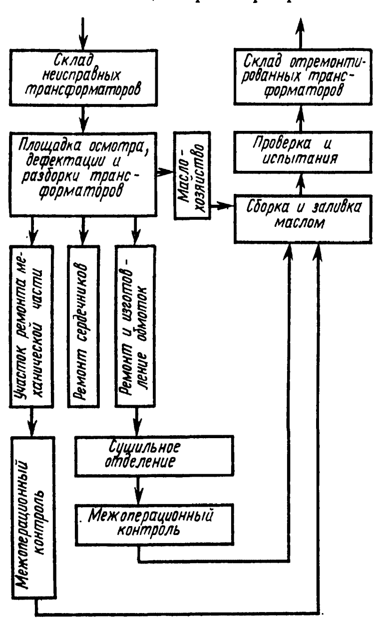


Рис. 5.2. Типовая структурно-технологическая схема ремонта трансформаторов

Особенность ремонта в условиях мастерских и заводов определяется тем, что поступающие в ремонт трансформаторы весьма разнообразны по габаритам, массе, конструктивному выполнению, а также по назначению, мощности и напряжению. Поэтому в большинстве случаев, в том числе и на стационарных электроремонтных предприятиях, используют индивидуальный метод ремонта, который организуется с использованием заводского метода, обеспечивающего высокую производительность труда и качество ремонта, также с применением отдельных элементов поточного метода.

При организации ремонтных работ значительный объем занимает подготовка масла. Так как при ремонте масло приходится

заменять новым или регенерировать старое, необходимо подготовить в достаточном объеме масло и емкости для него, а также маслоочистительную аппаратуру; проложить маслопроводы и т. д. При этом особое внимание уделяют мерам пожарной безопасности и обеспечению рабочего места противопожарным инвентарем.

Масляные трансформаторы имеют в отличие от других изделий, определенные особенности, так как для них любой ремонт, связанный со вскрытием бака и разборкой трансформатора, является капитальным. Это объясняется тем, что после вскрытия трансформатора необходимо выполнить большой объем обязательных работ (обработка масла, замена сорбентов, уплотнений, сушка активной части, контрольные испытания и др.), которые занимают много времени и требуют определенных затрат.

Ремонтный цех (применительно к рассматриваемому технологическому процессу ремонта двух — четырех трансформаторов в смену) включает вместе с масляным хозяйством следующие участки (см. рис. 5.2): разборки и дефектировки трансформаторов, чистки и мойки баков, ремонта и складирования баков, сварочно-механический, склад комплектующих изделий и инструментов, ремонта активных частей, сборочный, заливки трансформаторов маслом, испытательную станцию и покрасочный.

Подробное описание работ, выполняемых на каждом участке, приведено в гл. 11, 12.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается годовая программа электроремонтного предприятия? Как она определяется?
2. Как рассчитывается трудоемкость ремонта электрической машины?
3. Каковы основные виды работ, производимых при ремонте электрических машин?
4. Какое основное оборудование необходимо устанавливать в каждом производственном подразделении?
5. В чем заключаются особенности ремонта трансформаторов? Как они сказываются на организации ремонта?

РАЗДЕЛ II
РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ГЛАВА 6
СОДЕРЖАНИЕ РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В зависимости от массы и размера машины либо демонтируются и направляются в ремонт, либо ремонт производится непосредственно на месте их установки. В технических условиях ремонта регламентируются взаимные обязательства заказчика и ремонтного предприятия.

Приемка машин в ремонт производятся по акту. В акте кроме паспортных данных машины и предполагаемого объема ремонта указываются технические требования, которым должна удовлетворять машина после ремонта (модернизации): напряжение, частота вращения, класс нагревостойкости изоляции и др. Ремонтируются только комплектные электрические машины, имеющие все основные узлы и детали, включая старые обмотки. Все соединительные и установочные детали должны быть демонтированы заказчиком. Не ремонтируются машины с разбитыми корпусами и подшипниковыми щитами, со значительным (более 25%) повреждением активной стали.

§ 6.1. Содержание текущего и капитального ремонтов

Технические условия ремонта. Ремонт должен быть выполнен так, чтобы после него была обеспечена эксплуатационная надежность машины, а ее технические показатели (предельно допускаемые температуры частей, допуски на установочные и присоединительные размеры) соответствовали ГОСТам. Применяемые при ремонте материалы выбираются исходя из соответствующих стандартов, а класс нагревостойкости изоляции — не ниже предусмотренного заводом-изготовителем.

Отремонтированная машина снабжается всеми необходимыми деталями, ее обмотка с креплениями и поверхность магнитопровода покрывается лаком; внутренние поверхности подшипниковых щитов и корпуса, вентиляторы и наружные поверхности корпуса окрашиваются, а конец вала покрывается консервационной смазкой. Обмотка и другие токоведущие части машины должны быть надежно закреплены, пазовые клинья не иметь слабины, подшипники скольжения работать без течи масла, а подшипники качения заполнены смазкой.

После приемо-сдаточных испытаний ремонтные организации гарантируют исправную работу отремонтированной машины в течение до одного года при соблюдении условий транспортировки, хранения и эксплуатации.

Выводные концы обмоток машины маркируются в соответствии со стандартом, а на корпусе устанавливается новый щиток с указанием наименования предприятия, проводившего ремонт, типа машины, номинальных мощности, напряжения, тока, частоты вращения, КПД, коэффициента мощности (для машин переменного тока) и даты выпуска из ремонта.

На электроремонтных предприятиях существуют технологические карты ремонта электродвигателей и генераторов различной мощности и класса напряжения. Эти документы составлены в виде таблиц, в которых перечислены номера и содержание всех технологических операций, технические условия и указания по проведению ремонта, сведения об оборудовании и оснастке, необходимых для ремонта, а также нормах времени на проведение отдельных операций.

Текущий ремонт. Этот вид ремонта электрических машин производится в тех случаях, если они находятся в эксплуатации или резерве. Электрические машины, хранящиеся на складе, подвергаются осмотрам и консервации в сроки, обусловленные графиком ППР. В процессе текущего ремонта персоиалом электроремонтного цеха (в редких случаях — силами обслуживающего персонала) выполняются следующие работы: очистка наружных поверхностей от грязи, пыли и масел; проверка состояния подшипников, их промывка и замена при превышении допустимых радиальных зазоров; проверка работы смазочных колец в подшипниках скольжения, системы принудительной смазки и отключающей блокировки, осмотр и очистка вентиляционных устройств, статорных и роторных (якорных) обмоток и коллекторов; проверка крепления лобовых частей обмоток и устранение дефектов; устранение местных повреждений изоляции обмоток; сушка обмоток и покрытие при необходимости лобовых частей покровными эмалями; шлифовка и зачистка контактных колец и коллекторов, проточка и продораживание коллектора (при необходимости); проверка и регулировка щеточного механизма; сборка машины, проверка ее работы на холостом ходу и под нагрузкой; проведение приемо-сдаточных испытаний и сдача машины после ремонта.

Капитальный ремонт. При плановом капитальном ремонте, как правило, производится полная замена обмоток. Ремонт машин нецелесообразен, если имеются значительные повреждения механических узлов, устранение которых невозможно силами ремонтного цеха. При выгорании и повреждении более пяти коллекторных пластин осуществляется замена коллектора машины.

Типовой объем капитального ремонта включает: операции текущего ремонта; проверку воздушных зазоров между статором и ротором, если конструкция позволяет выполнить эти измерения; проверку осевого разбега ротора и зазоров между шейкой вала и вкладышем подшипника скольжения, перезаливку вкла-

дышей (при необходимости); полную разборку машины, чистку и промывку всех механических узлов и деталей; очистку, продувку, протирку исправных изоляционных деталей, коллекторов, контактных колец, щеточного механизма; дефектовку узлов и деталей; механический ремонт корпуса, подшипниковых щитов, магнитопроводов — заварку трещин, приварку лапы, восстановление резьбовых отверстий, восстановление посадочных мест в корпусе и щитах; ремонт сердечников ротора и статора — удаление замыканий между отдельными листами, устранение распушения листов, осевого сдвига и выгоревших участков и установка протезов; ремонт вала — исправление торцовых отверстий, устранение прогиба, восстановление посадочных поверхностей и шпоночных канавок; изготовление и укладка обмоток из круглого провода, восстановление (при возможности) изоляции обмоток из прямоугольного провода и укладка обмоток, сборка и пайка схем, пропитка обмоток, покрытие лобовых частей покровными эмалями; сборка машины и проведение приемо-сдаточных испытаний.

При капитальном ремонте необходимо производить замену подшипников качения, выработавших свой ресурс вне зависимости от их состояния. Возможность дальнейшего использования подшипников, не выработавших ресурс, решается после их дефектации. При этом следует помнить, что остаточная стоимость заменяемых подшипников, как правило, меньше, чем стоимость аварийного ремонта с учетом простоя оборудования, вызванного выходом из строя подшипника.

При капитальном ремонте, как правило, обмотки из круглого провода и низковольтные обмотки из прямоугольного провода извлекаются из сердечников и повторно не используются, а сдаются как вторичные ресурсы в соответствующие службы. Извлечь провод небольшого диаметра, не повредив его, практически невозможно. Обмотки высоковольтных машин из прямоугольного провода могут использоваться повторно после замены витковой и корпусной изоляции.

В объем капитального ремонта пускорегулирующей аппаратуры входят полная разборка аппарата, чистка, промывка и сушка деталей, дефектация и ремонт вышедших из строя деталей, отдельных узлов, перемотка или замена катушек, замена деталей механической части аппарата, выводов, крепежных деталей и запорной арматуры, ремонт или замена дугогасительных камер.

Кроме перечисленного объема работ при ремонте автоматов, магнитных пускателей и контакторов производят проверку и регулировку хода и нажатия подвижных контактов, регулировку одновременности включения по фазам отдельных контактов и величины зазоров между подвижными и неподвижными рабочими контактами, проверку действия и регулировку механизма теп-

лового реле, электромеханического привода, расцепителей перегрузки и короткого замыкания.

При ремонте командоаппаратов, контроллеров и командоконтроллеров производят проверку крепления барабанных секторов, переклепку тормозных колодок, регулировку фиксации по отношению к указателям положения, проверку взаимодействия отдельных узлов и механизмов.

§ 6.2. Предремонтные испытания

Для определения характера дефектов машин, поступивших во внеплановый ремонт, проводят предремонтные испытания. В практике возможны случаи, когда исправная машина по ошибке обслуживающего персонала отправляется в капитальный ремонт (не были точно определены причины ненормальной работы машины: неисправная сеть или пускорегулирующая аппаратура, неисправность в приводном механизме и т. п.).

Можно принять такую последовательность предремонтных испытаний для машин малой мощности: определение состояния машины внешним осмотром; определение сопротивления изоляции; определение сопротивления обмотки постоянному току; проверка легкости вращения вала от руки; проверка работы на холостом ходу. При положительных результатах машину подвергают приемо-сдаточным испытаниям и, если она их выдерживает, отправляют обратно в эксплуатацию.

Крупные электрические машины и ответственные машины средней мощности перед плановым капитальным ремонтом испытывают на месте установки. До начала испытаний мастер или бригадир знакомятся с отчетной документацией о всех ранее выполненных ремонтах на электрической машине. При этом обращают особое внимание на время последнего ремонта подшипников, величину воздушного зазора, результаты испытаний изоляции, замечания о работе, устанавливают наработку двигателя между ремонтами.

В зависимости от конструкции машин, требований и условий эксплуатации определяется объем испытаний. Испытания включают: измерение вибрации на холостом ходу и при различных нагрузках; определение температуры нагрева подшипников, температуры воздуха на входе и выходе из воздухоохладителя, температуры отдельных активных частей статора, подшипниковые токи и т. п. После остановки машины производят измерение сопротивления изоляции, величину воздушного зазора, биение контактных колец или коллектора. Обращают особое внимание на не разбираемые при ремонте узлы. Полученные результаты сравнивают с данными испытаний при предыдущем ремонте.

До вывода в ремонт крупных электрических машин в соответствии с правилами ПТЭ должны быть: составлены ведомости

объема работ и смета, уточняемые после вскрытия и осмотра оборудования; составлен график ремонтных работ, заготовлены согласно ведомостям объема работ необходимые материалы и запасные части; составлена и утверждена техническая документация на реконструктивные работы, намеченные к выполнению в период капитального ремонта, подготовлены материалы и оборудование для их выполнения; укомплектованы и приведены в исправное состояние инструмент, приспособления, такелажное оборудование и подъемно-транспортные механизмы; подготовлены рабочие места для ремонта, произведены планировка площадки с указанием мест размещения частей и деталей; укомплектованы и проинструктированы ремонтные бригады.

Любой вид ремонта, для которого необходимо отсоединять электрическую машину от фундамента и механизма, целесообразно выполнять в условиях специальной мастерской. Отсутствие мастерских, пригодных по площади, высоте и оснащенности грузоподъемными механизмами, вынуждает ремонтный персонал создавать ремонтные площадки вблизи мест установки машины.

Ремонтная площадка предназначена для перегрузки и размещения сборочных деталей, ремонтных приспособлений и оснастки, а также для выполнения ремонтных операций. Ремонтные площадки должны быть электрифицированы и находиться, как правило, в зоне действия грузоподъемного средства.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к ремонту электрических машин?
2. Что входит в объем текущего ремонта?
3. Что входит в объем капитального ремонта?
4. В каких случаях при капитальном ремонте не требуется замена подшипников?
5. Какова последовательность предремонтных испытаний?

ГЛАВА 7

РАЗБОРКА И ДЕФЕКТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

При ремонте электрическую машину разбирают. При снятии каждой детали или сборочной единицы производят их мойку, дефектацию (определяют целостность детали, состояние сборочных и рабочих поверхностей и измеряют размеры, определяющие сборку) и устанавливают объем необходимого ремонта. Степень разборки определяется при дефектации. Если сборочная единица не имеет повреждений, ее разборку не производят. Разборка должна производиться с использованием специального инструмента, при этом детали и сборочные единицы не должны повреждаться. Персонал, производящий дефектацию, должен знать допустимый износ каждой детали и сборочной единицы. Особое внимание необходимо обращать на разборку обмотки в случае ее повторного использования. Извлеченные из пазов катушки не должны терять свою форму, а провод не должен иметь повреждений.

§ 7.1. Разборка электрических машин

Перед снятием шкивов, полумуфт, шестерен и т. п. с вала машины выворачивают стопорный винт или выбивают шпонку, фиксирующую деталь на валу. Место посадки заливают керосином. Для снятия деталей используют двух- или трехлапчатые ручные переносные или гидравлические съемники. При снятии шкива *5* (рис. 7.1) лапы *4* съемника накладывают на наружную поверхность шкива. Вращая рукоятку *2*, передвигают гайку *3* влево, при этом лапы плотно захватывают деталь. Затем, вращая рукоятку *1*, стягивают шкив с вала. Лапы съемника позволяют захватывать детали за наружную или внутреннюю поверхности, а гайка *3*, передвигаясь по резьбовой втулке, позволяет фиксировать положение лап. Крепление и работа со съемником, как правило, производятся двумя рабочими: один придерживает лапы, а второй вращает рукоятку. Для снятия шкивов, шестерен или полумуфт, имеющих аксиальные отверстия, используют съемник (рис. 7.2), с которым может работать один рабочий. Траверса *1* съемника с помощью болтов *4* соединяется с демонтируемой деталью *2*. При затяжке винта *5* происходит снятие детали с вала. Для предотвращения проворачивания ротора при затяжке винта одно плечо траверсы упирается в подставку из раздвижных труб *3*. При разборке более крупных деталей, где

Рис. 7.1. Эскиз лапчатого съемника при демонтаже шкива

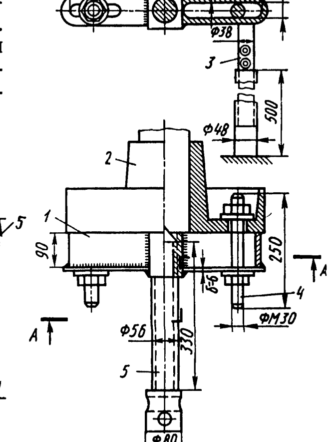


Рис. 7.2. Эскиз съемника с траверсой

требуются большие усилия, применяют гидросъемники, в которых усилие создается гидропрессом.

В некоторых случаях для облегчения работы производят подогрев детали. Его следует вести интенсивно, одной-двумя газовыми горелками, начиная от края детали и постепенно приближаясь к ступице. Нагрев можно контролировать периодическим прикосновением прутка из олова, который начинает плавиться при температуре около 250°С. Для того чтобы уменьшить нагрев вала, его обертывают асбестовым картоном, смоченным в воде. В процессе нагревания детали внимательно следят за началом трогания детали, так как на нее действует максимальное усилие от съемника. Весьма эффективным является нагрев детали токами высокой частоты. При этом способе вал практически не нагревается.

Разборку машин мощностью до 100 кВт, например, асинхронных двигателей производят в такой последовательности:

снимают кожух наружного вентилятора и вентилятор; предварительно отвернув болты, крепящие подшипниковые щиты и крышки подшипника со стороны обратной приводу, снимают задний подшипниковый щит (со стороны, обратной приводу); сбивают передний подшипниковый щит (со стороны привода) с замка, выводят ротор из статора и устанавливают на край стола так, чтобы ротор располагался на столе, а подшипниковый щит — около края стола; снимают подшипниковый щит, предварительно отвернув болты подшипниковых крышек, и съемником подшипники с вала.

У электродвигателей с контактными кольцами (при расположении их за щитом на стороне, обратной выходному концу вала) дополнительно снимают кожух контактных колец и вынимают щетки. Следует иметь в виду, что у этих машин подшипники снимаются только после демонтажа контактных колец, в процессе которого отпаивают соединительные хомутики от выводных концов обмотки.

Снятие подшипниковых щитов можно производить отжимными болтами, если они предусмотрены в конструкции. В этом случае болты крепления подшипниковых щитов завертывают равномерно, не допуская перекоса щита, в отжимные отверстия до схода щита с замка на корпусе. В некоторых машинах подшипниковый щит выводят из замка статора рычагом, вводимым в отверстие между торцом станины и краем щита. В остальных случаях щиты снимают легкими ударами молотка через мягкие (деревянные, медные) прокладки по краю щита. Щит должен сначала сойти с замка на корпусе (ротор одной стороной опустится на железо статора), а затем с наружной обоймы подшипника. При этом следят за тем, чтобы ротор не сдвигался вместе со снимаемым подшипниковым щитом.

Вывод ротора из статора является ответственной операцией.

При этом не допускается цепляние ротора о сердечник статора или лобовые части. Ротор небольшой массы выводят из статора руками, поддерживая его с двух сторон, а крупный ротор — при помощи приспособления (рис. 7.3). Серьгу *1* устанавливают так, чтобы она располагалась над центром тяжести ротора *2*. Затем заводят цанговый патрон на вал *3* и, вращая рукоятку *6*, подают пластину *5* вперед, пока кулачки *4* не захватят вал ротора. Вывешивают ротор, приподнимая приспособление краном за серьгу *1*, и извлекают его из статора. Небольшую регулировку производят поддерживая за ручку *7*. Кулачки приспособления позволяют захватывать вал диаметром до 100 мм.

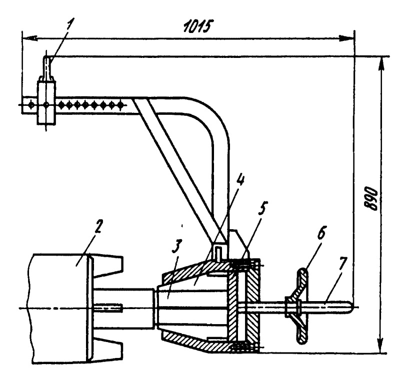


Рис. 7.3. Приспособление для выема и заведения ротора

Съем подшипников производят, прикладывая

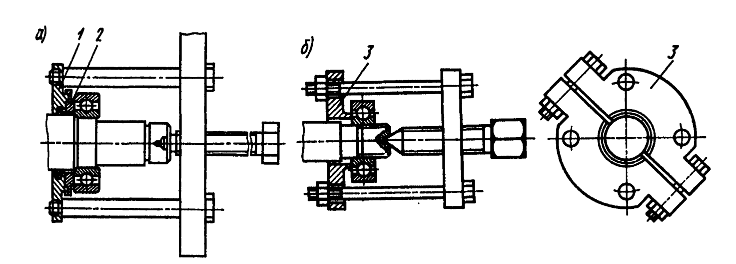


Рис. 7.4. Снятие подшипников с использованием вставок (*а*) и хомута (*б*)

усилие к его внутренней обойме. Это можно сделать лапчатым съемником, имеющим достаточно глубокие губки. Подшипники можно снимать, используя подшипниковые крышки *1* (рис. 7.4, *а*), устанавливая между ними и подшипником специальные прокладки *2* или, если имеется место, хомут *3* (рис. 7.4, *б*). Часто используют гидравлические съемники. На рис. 7.5 показан съемник с рабочим давлением в гидросети 6,4 МПа и давлением цилиндра не более 100 кН. Ход цилиндра не более 75 мм.

На крупных электроремонтных предприятиях для разборки двигателей 3—9-го габаритов серий А, А2 и двигателей с высотой оси вращения 100—250 мм серии 4А используют разборочный конвейер, который оборудован разборочным стендом. Двигатель устанавливают на конвейер. Выворачивают болты, кре-

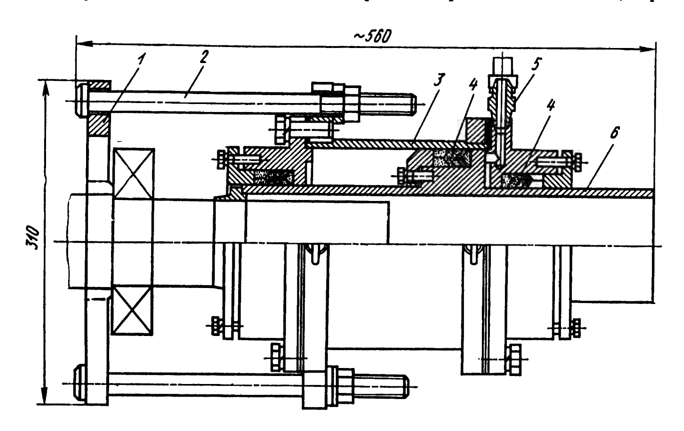


Рис. 7.5. Гидравлический подвесной съемник для снятия подшипников с валов электродвигателей 6—9-го габаритов:
1 — скоба; *2* — тяга; *3* — цилиндр; *4* — уплотнение; *5* — штуцер; *6* — поршень

пящие коробку выводов и панель. Снимают кожух наружного вентилятора, наружный вентилятор, болты, крепящие крышки подшипников и подшипниковые щиты, и пружинные кольца, крепящие подшипник. Двигатель устанавливают на разборочный стенд (рис. 7.6) и крепят его за лапы зажимным устройством *6*, располагая рабочим концом вала к подвижной стойке *1*. При помощи электропривода *2* устанавливают пиноли *3* по высоте оси вращения и, передвигая стойку *1* вправо, фиксируют двигатель в пинолях. Правая стойка *4* неподвижна. Включают движение стола *7* влево. Стол движется по направляющим *8*, и при этом выпрессовывается левый подшипниковый щит с наружного кольца подшипника и правый подшипниковый щит из замка на корпусе. Устанавливают опорную вилку (на рис. 7.6 не показана) между левым подшипником и корпусом двигателя и включают движение стола *7* вправо. При этом выпрессовывается правый подшипниковый щит с замка на корпусе и левый подшипник с вала устанавливают опорную вилку между правым подшипником и корпусом и включают движение стола *7* влево. При этом выпрессовывается правый подшипник с вала. Затем выводят

пиноли *3* стоек из центров вала, поворачивают стол *5* с двигателем на 60—90°, снимают крышки подшипников, подшипники и подшипниковые щиты. Приспособлением или вручную выводят ротор из статора. Затем ослабляют зажимные устройства и снимают статор.

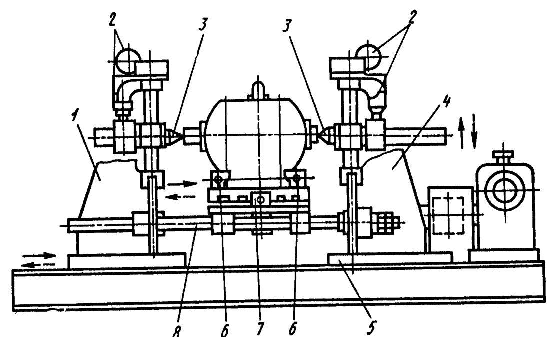


Рис. 7.6. Стенд для разборки электродвигателей

На все детали навешивают бирки с ремонтным номером и отправляют статор на удаление обмотки, а остальные детали и узлы на мойку. Если ротор не короткозамкнутый, а имеет обмотку из медного провода, то его отправляют вместе со статором.

При разборке машин используют пневматические или электрические гайковерты со сменными головками, гаечные ручные ключи с открытым зевом, торцевые и др., приспособления для снятия кольцевых и других пружин и т. п.

Разборка каждого типа крупного электродвигателя имеет свои специфические особенности, обусловленные конструктивным исполнением, местом установки, наличием грузоподъемных механизмов и др.

При разборке электродвигателя замерами определяют: воздушный зазор между статором и ротором в четырех точках с обеих сторон; радиальные зазоры в подшипниках и натяги крышек подшипников на вкладыши у подшипников скольжения; зазор по маслоуловителям и уплотнениям вала, осевой разбег ротора; совпадение магнитной оси ротора и статора; осевой и радиальные зазоры между вентилятором и диффузором; уклон вала ротора. Результаты измерений заносят в формуляр.

После проведения электрических испытаний приступают к разборке электродвигателя. Снимают наружные и внутренние щиты и диффузоры. В воздушный зазор под ротор заводят лист

электрокартона, разбирают опорные подшипники и опускают ротор в расточку статора. Снимают полумуфты, подогревая их при необходимости газовыми горелками, зачищают посадочные поверхности и определяют натяг. Если натяг не соответствует требованиям чертежа, его восстанавливают, ремонтируя полумуфту.

Для того чтобы не повредить обмотки при выводе ротора из статора в крупных машинах, лобовые части закрывают прессшпаном или резиной. Существуют различные приспособления для осуществления процесса вывода ротора. Львовский филиал ЦКБ Союзэнергоремонт разработал размерный ряд скоб для двигателей ДАЗО до 19-го габарита. Масса наибольшей скобы 520 кг. Имеются приспособления, позволяющие выводить ротор без грузоподъемных механизмов. Одно из таких приспособлений показано на рис. 7.7 и состоит из двух швеллеров *1*, прикрепленных с двух сторон к грузовым болтам. Вдоль швеллеров перекатываются ролики *2*, к которым подвешены грузовые ленты *4* для подшипниковых щитов *5* и ротора *7*. Высоту подвески грузовых лент можно менять, вращая гайки *3*. Для перемещения ротора на конец вала надевают удлинительную трубу *6*.

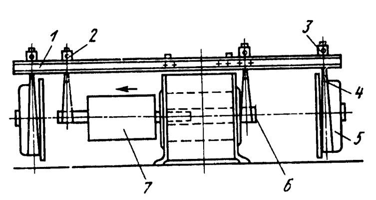


Рис. 7.7. Приспособление для разборки электродвигателей до 19-го габарита без грузоподъемных механизмов

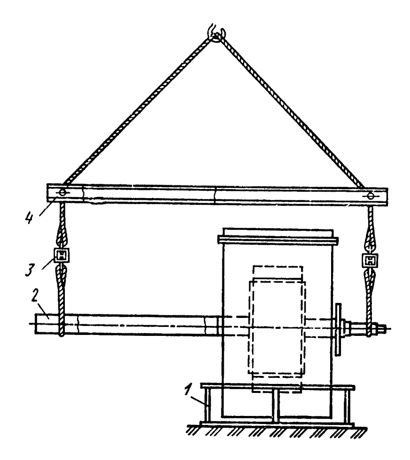


Рис. 7.8. Приспособление для вывода ротора электродвигателей типа ДАЗО 15-го и 19-го габаритов

Вывести ротор можно грузоподъемными средствами. Для этого на кран подвешивают траверсу *4* (рис. 7.8) с двумя регулировочными болтами *3*. На вал надевают удлинитель *2*. Вывесив при помощи крана и регулировочных болтов ротор, его выводят из статора, который остается на раме *1*.

Если расточка статора расположена ниже поверхности фун-

даментной плиты, статор сначала поднимают и под его лапы укладывают шпалы так, чтобы расточка была немного выше верхней отметки плиты. Далее выводят ротор, как указано выше.

§ 7.2. Разборка обмотки из круглого провода

Обрезка лобовой части. Обмотки извлекают из пазов наиболее экономичным способом, заботясь о сохранности сердечников. При удалении обмоток переменного тока (обмотки статоров, роторов, якорей) отрезают одну лобовую часть на токарных станках или на специальных станках модели СО-3М (для двигателей высотой оси вращения 50—100 мм) или СЦО-2 (для двигателей высотой оси вращения 100—280 мм), что позволяет повысить производительность труда. При отрезке на токарных станках, чтобы не образовывалась медная стружка и не происходила затяжка провода, желательно использовать ножевые резцы или фрезы.

Для обрезки обмотки статор машины устанавливается на стол *5* (рис. 7.9) станка модели СО-3М, задняя бабка *2* приводом *1* по направляющим *4* подается вперед, кулачки патрона *3*

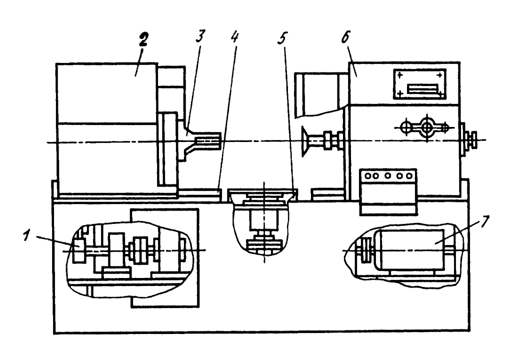


Рис. 7.9. Станок типа СО-3М для обрезки лобовых частей электродвигателей

входят в статор и разжимаются. Длина кулачков должна перекрывать не менее $^3/_4$ длины сердечника. Стол отводится вниз. Передняя бабка *6* приводом *7* подводится к лобовой части, при этом ось вращения установленного на передней бабке отрезного устройства (рис. 7.10) совпадает с осью обрабатываемого статора, а режущий диск *3*, вращающийся в подшипниках *2*, не касается обрабатываемой поверхности. При вращении шкива *7* с

оправкой *1* и под действием механизма подачи винт *9* поступательно перемещается в сторону режущего диска *3* и через ролики *10* и гайку-шестерню *8* поворачивает через зубчатый венец суппорт *6*. Поворачиваясь относительно своей оси, суппорт перемещает державку *5*, а вместе с ней вал *4* и режущий диск *3* к

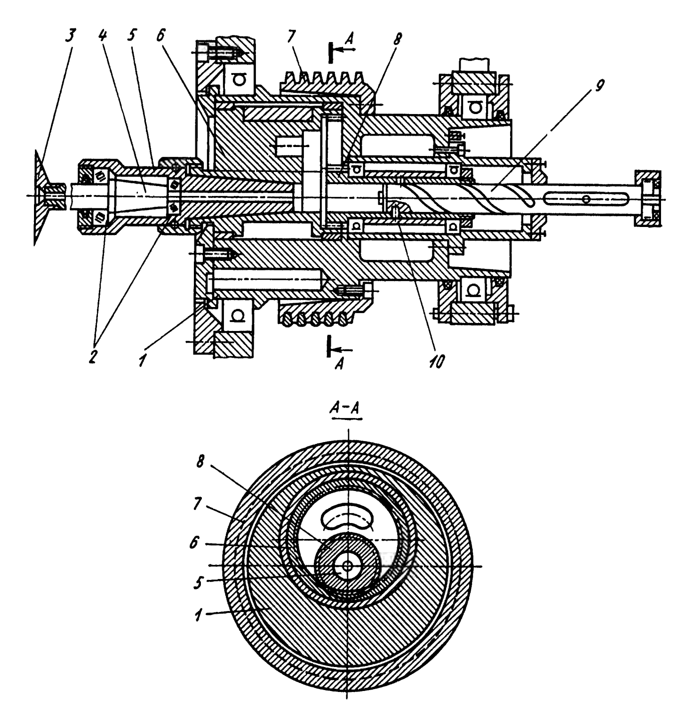


Рис. 7.10. Рабочие органы станка СО-3М

поверхности отрезаемой обмотки. При касании поверхности обмотки режущий диск *3* за счет сил трения начинает вращаться совместно с осью и, обкатываясь по обмотке, отрезает ее, после чего винт *9* и соответственно режущий диск возвращаются в исходное положение. Применение способа резания обкаткой позволяет обрезать лобовые части без образования стружки и повышает стойкость режущего инструмента в несколько раз.

Ослабление пазовой изоляции. Для того чтобы извлечь обмотку из пазов и при этом по возможности не повредить сердечник, ослабляют сцепление обмотки с сердечником путем выжигания или размягчения пазовой изоляции.

Выжиг изоляции производят при температуре 350°С в течение 4—6 ч. Изоляция обугливается и теряет свою механическую прочность. Корпус статора устанавливают в печи горизонтально. Вертикальное размещение недопустимо, так как может ослабнуть посадка сердечника в корпусе и произойти его сдвиг. Статор с алюминиевым корпусом операции выжига не подвергают из-за того, что изменяются размеры корпуса, ослабевает посадка сердечника. При выжиге изоляции роторов контактные кольца должны быть сняты. Повышать температуру более 350°С нельзя, так как возможно нарушение междулистовой изоляции сердечника и изменение магнитных свойств электротехнической стали в сторону ухудшения. Отдельные случаи в практике ремонта, когда после выжигания изоляции происходит улучшение магнитных свойств стали (уменьшение потерь), следует объяснить несовершенством технологии производства или ее нарушением.

Печи оборудуются вытяжной вентиляцией для удаления образующихся при обугливании изоляции вредных газов, которые в дальнейшем нейтрализуются или дожигаются. Это является одним из существенных недостатков рассматриваемого метода. После извлечения изделия из печи его охлаждают до температуры 50—60°С и удаляют обмотку.

Другой метод разрушения изоляции заключается в том, что сердечник помещают на 6—8 ч в ванну с 10%-ным раствором подогретого до температуры 80—90°С едкого натра (каустическая сода). После извлечения обмотки из статора или ротора сердечники промывают в проточной воде и сушат. Этот метод трудоемок и требует большого расхода воды и нейтрализации отработанных растворов, сливать которые в ливневую канализацию нельзя.

Наиболее прогрессивным следует считать метод ослабления пазовой изоляции за счет высокочастотного нагревания сердечника. При этом тепло от сердечника передается пазовой изоляции через лак, находящийся между ними, а от пазовой изоляции через лак — к проводникам. При интенсивном нагреве температура лака между сердечником и пазовой изоляцией будет выше, чем между пазовой изоляцией и проводниками, а цементирующая способность лака — ниже. При извлечении обмотки из нагретого сердечника обмотка выходит вместе с пазовыми коробочками, оставляя паз чистым. Дополнительные работы по очистке паза практически не требуются.

Высокочастотная установка типа ВЧИ-63/0,44 (рис. 7.11) работает в диапазоне частот 429—451 кГц, ее номинальная мощность 63 кВт, средняя производительность 160 статоров в смену.

Перед началом работы ее настраивают на партию однотипных статоров, в соответствии с внутренним диаметром и длиной сердечника выбирают индуктор. Зазор между индуктором и сердечником должен быть минимальным.

Выбранный индуктор *10* устанавливают в зажим *3* (см. рис. 7.11) и подключают к нему охлаждающую воду (температура от 5 до 30°C и давление 0,2—0,05 МПа). Общая жесткость воды

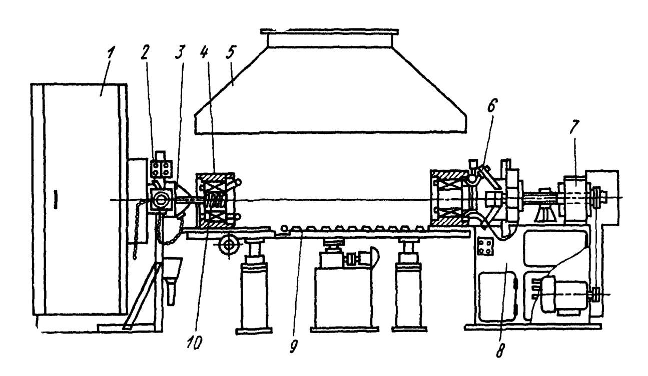


Рис. 7.11. Схема высокочастотной установки типа ВЧИ-63/0,44 для разогрева и извлечения обмотки статора

должна быть не более 8,5 мг·экв на 1 л, удельное электрическое сопротивление не менее $4 \cdot 10^5$ Ом/м. Если имеющаяся на предприятии технологическая вода этим условиям не отвечает, необходимо выполнить индивидуальную замкнутую систему водоохлаждения дистиллированной водой.

Работа на установке производится в следующем порядке (см. рис. 7.11). После настройки подают охлаждающую воду и убеждаются в нормальной работе системы охлаждения, проверяя слив воды из соответствующих выводов в воронки. Включают напряжение и прогревают установку в течение 30 мин. На стол устанавливают статор *4* и вводят в него индуктор *10*, который не должен касаться сердечника. На пульте *2* включают кнопку «нагрев». Нагрев до требуемой температуры происходит в течение нескольких секунд. Установка может работать в ручном и автоматическом режимах. Нагретый статор по рольгангу *9* передается к месту *8* извлечения обмотки и при помощи крючков *6*, приводимых в движение пневмоцилиндром *7*, удаляется из статора. Питание установки производится от высокочастотного генератора *1*. Над установкой имеется вытяжной зонт *5*.

Удаление обмотки из пазов. В небольших машинах обмотку извлекают вручную при помощи крючков, которыми захватывают ее за необрезанную лобовую часть. Из статоров больших размеров удаление обмотки производят на специальных станках (рис. 7.12).

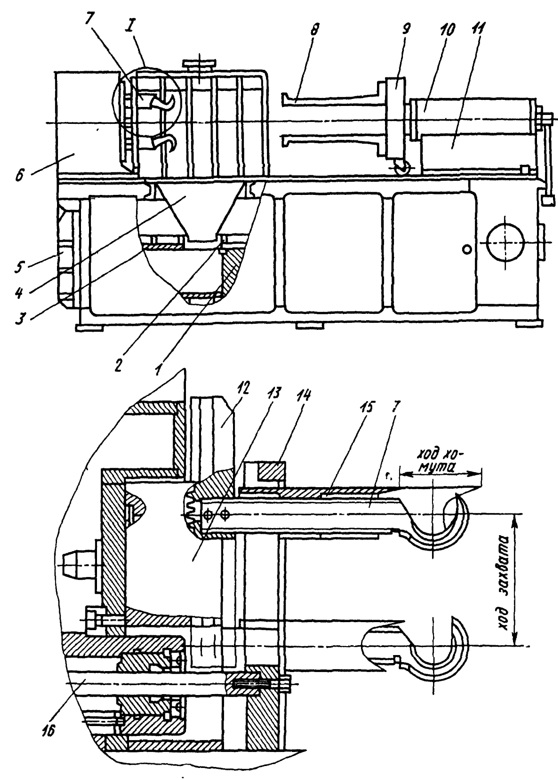


Рис. 7.12. Станок типа УПО-1 для удаления обмотки из статоров

Статор устанавливают на кулачки *8* задней бабки *11* таким образом, чтобы торцевая поверхность сердечника упиралась в буртики верхних кулачков и фиксировалась с помощью механизма

зажима и центровки. Патрон *9* задней бабки подводится к захватам *7* на передней бабке *6*, которые внедряются в обмотку, прокалывая ее крюками. Механизм внедрения захватов состоит из шестикулачкового самоцентрирующегося патрона *13*, на котором установлены кулачки *12* с захватами *7*. Механизм зажима обмотки состоит из диска *14* с шестью пазами, связанного с хомутами захвата и гидроцилиндром. Зажим обмоток осуществляется хомутами *15* через диск, приводимый в движение гидроцилиндром *16*. Обмотка зажимается в захватах и выдергивается из статора при движении цилиндра *10* вправо. Извлеченная обмотка сбрасывается с крючков в бункер *4* и затем в пакетировочный пресс *3*. После заполнения приемной полости пресса и предварительных подпрессовок производится опрессовка ползуном *1*. На ползуне установлен нож *2*, отрезающий провода, не попавшие в приемную полость. Спрессованный пакет меди выталкивается из пресса ползуном *4*, при этом открывается шибер *5*. Производительность пресса 180 статоров в смену. Наибольшее усилие выдергивания обмотки — 38 кН, наибольшее усилие пакетирования меди — 300 кН.

При разборке обмотки, на которую отсутствуют обмоточные данные или они недостаточно точно сняты перед разборкой, несколько извлеченных катушек прикрепляют к статору. По ним определяют диаметр провода, число элементарных проводов в одном эффективном и длину лобовой части.

После извлечения обмотки производят очистку пазов от остатков изоляции, используя напильники. Очищенные сердечники отправляют на мойку.

§ 7.3. Разборка обмотки из прямоугольного провода

Рассмотрим процесс разборки обмоток асинхронных двигателей и машин постоянного тока.

Извлечение стержней из пазов фазных роторов асинхронных двигателей. При удалении стержней у роторов, на которые отсутствует техническая документация, производят их осмотр, измеряют необходимые размеры и результаты записывают в ведомость дефектов. Определяют данные бандажей: их число, количество витков в бандаже, число скрепок, диаметр проволоки и составляют их эскиз. Определяют схему обмотки (шаги по пазам, расположение начала и конца фаз, переходы), длины вылета лобовых частей и направление изгиба стержней, а также все необходимые данные по изоляции. В процессе разборки на роторе выбивают номера пазов, в которых расположены начала и концы фаз и переходные стержни.

Разборку начинают со срезания бандажей из стеклянной нетканой ленты или распайки бандажей из стальной проволоки. Распайку производят электродуговым паяльником. Проволоку

сматывают на барабан. Затем распаивают хомутики, соединяющие концы стержней, снимают их со стержней и зачищают их и стержни от наплывов припоя. Затем специальными ключами разгибают в двух местах стержень. Одним ключом удерживают стержень, а другим производят разгиб. Извлечение стержней из пазов требует значительных усилий, поэтому его выполняют специальным приспособлением (рис. 7.13), которое хомутом *5* закрепляют на валу *6*. Конец стержня *1* закрепляют в зажиме *2* и, вращая винт *4*, вытягивают верхний стержень из паза. Распорка *3* удерживает приспособление от сдвига. После удаления верхних стержней извлекают нижние.

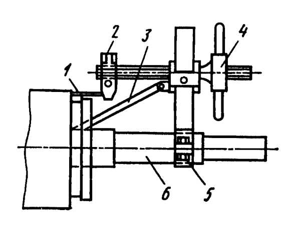


Рис. 7.13. Приспособление для извлечения стержней из пазов ротора

Пазы сердечника, нажимные шайбы, обмоткодержатели очищают от старой изоляции. Проверяют исправность пазов, для чего в пазы устанавливают один слой электрокартона толщиной 0,1 мм и прогоняют через него клин из дерева, изготовленный по форме и размерам пазов с учетом толщины гильзы. По вмятинам на картоне определяют неисправность пазов. Неисправности выправляют дорновкой. Стержни отправляют на восстановление изоляции.

Извлечение обмотки якорей машин постоянного тока. Перед разборкой производят запись необходимых данных. Разборку начинают с распайки бандажей и обмотки от коллектора. Если обмотка соединена с коллектором сваркой, ее срезают на токарном станке. Места сварки, как правило, располагаются с торца петушков и имеют глубину 2—4 мм. Если обмотка крепилась в пазах клиньями, выбивают их. Сначала извлекают из пазов верхние стороны катушек, обрезают, снимают изоляцию между слоями и извлекают нижние стороны катушек. При этом под катушку заводят киперную или лавсановую ленту и, поднимая ее вверх, вытаскивают катушку из паза. По мере необходимости ленты продвигают вдоль катушки. В процессе разборки записывают данные уравнительных соединений и места их расположения.

Если в катушках будет восстанавливаться изоляция и они будут вновь уложены в якорь, их извлечение необходимо произвести так, чтобы по возможности меньше была нарушена их геометрическая форма. Пазы якоря зачищают от остатков изоляции, проверяют исправность пазов и отправляют якорь на мойку.

В некоторых случаях, когда общее состояние изоляции удовлетворительное, а дефект обнаружен в верхней стороне катушки, можно произвести исправление дефекта. В этом случае сни-

мают бандажи, распаивают или вырубают острым зубилом соединение катушки с коллектором и достают одну сторону катушки. Производят замену части негодной изоляции и укладывают катушку в паз.

При повреждении медного провода его наваривают меднофосфорным припоем, зачищают и изолируют. Внимательно осматривают паз. В таких случаях весьма желательно найти причину нарушения изоляции и выхода машины из строя.

Извлечение высоковольтной обмотки. Высоковольтная обмотка располагается в открытых пазах, а катушки имеют термопластичную или термореактивную изоляцию. При термопластичной изоляции производят рассоединение катушечных групп и их подогрев, используя сварочные генераторы постоянного тока. Форсировать нагрев нельзя, так как может произойти вспучивание изоляции. Поэтому ток нагрева должен быть 0,4—0,6 от номинального. При нагреве изоляция размягчается и становится эластичной.

Из пазов выбивают клинья, обрезают крепления катушек к бандажным кольцам и между собой, при этом прокладки, установленные между катушками, стараются сохранить. Катушки извлекают из пазов, помогая лентами, за которые катушки поднимают вверх (рис. 7.14), и клиньями, которые забивают между верхней и нижней катушкой. Верхние стороны первых катушек, число которых равно шагу обмотки, оставляют в расточке статора, так как нижние стороны извлечь пока нельзя. Следующие катушки извлекают из верхних и нижних сторон пазов и последними извлекают нижние стороны первых катушек. Катушки отправляют на восстановление изоляции и производят дефектацию сердечника.

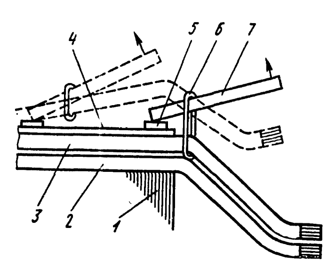


Рис. 7.14. Эскиз катушек при их извлечении из пазов статора:

1 — сердечник; *2, 3* — нижняя и верхняя стороны катушек; *4* — поверхность расточки статора; *5* — прокладка; *6* — петля; *7* — рычаг

Катушки с термореактивной изоляцией извлечь из пазов известными способами невозможно. Термореактивная изоляция не размягчается в различных растворах и при температуре 350—400°С. Различные механические способы неэффективны. Типовая технология этой операции отсутствует. Поэтому ремонт обмоток с термореактивной изоляцией сложен и дорог. В настоящее время ведутся поиски технологии ремонта, а также поиски возможности создания ремонтопригодной обмотки с термореактивной изоляцией.

§ 7.4. Мойка деталей и узлов

Перед дефектацией все детали и узлы необходимо очистить от грязи и масел в моющих растворах и воде с последующей сушкой. При мойке наиболее эффективны моющие синтетические препараты МЛ-51 и МЛ-52. Препараты нетоксичны, негорючи, взрывобезопасны, не вызывают ожогов кожи, хорошо растворяются в воде и сохраняют моющую способность в жесткой воде. Растворы пригодны для очистки деталей из черных и цветных металлов, включая алюминий и его сплавы, они не вызывают коррозии. Раствор препарата образует с отмываемыми загрязнениями малоустойчивую эмульсию, которая самопроизвольно распадается в баке моющей машины. Масляные загрязнения всплывают на поверхность раствора, а твердые частицы плотностью более 10^6 г/м^3 оседают в нижней части бака. Быстрота и полнота расслоения эмульсии, образованной растворами препаратов, гарантируют многократное использование одной порции моющего раствора по замкнутому циклу. Поэтому баки для моющего раствора, горячей воды и отстойников оборудуют устройствами для сбора масла с поверхности.

Указанные препараты предназначены для струйной очистки деталей, но могут также использоваться для очистки деталей в ваннах. При этом барботаж раствора паром или сжатым воздухом нежелателен, так как это может вызвать интенсивное пенообразование, что затруднит мойку и уменьшит срок использования раствора из-за разбавления его конденсатом и нейтрализации углекислым газом из воздуха.

Струйную очистку наиболее эффективно производить в моечных машинах. В настоящее время имеется несколько конструкций машин, основанных на схожих принципах. Центральное конструкторско-технологическое бюро электроремонта разработало машину для мойки деталей и узлов машин с высотой оси вращения до 280 мм. Машина состоит из моечной камеры, двух гидравлических баков с системами обогрева и фильтрации жидкости, насосной станции. В состав камеры входят две полукамеры с приводом, подвеска, привод вращения подвески, ловитель подвески, два контура с системой форсунок, емкость для слива рабочей жидкости в процессе мойки. Гидравлические баки состоят из двух одинаковых емкостей (для горячего моющего раствора и для горячей воды), трубопровода и арматуры.

Мойка производится следующим образом. Детали больших габаритов подвешивают на подвеске, а небольших — укладывают в контейнеры, которые крепят на подвеске. Детали поступают в машину, и раствор, нагретый до 70—80°С, через качающиеся сопла омывает их. При этом подвеска медленно поворачивается. Время промывки устанавливается при разработке техпроцесса в зависимости от габаритов и степени загрязнения деталей и в

большинстве случаев производится в течение 15—20 мин. После обработки раствором детали моют водой, нагретой до 80—90°С, и затем сушат горячим воздухом.

Приготовление моющего раствора производят непосредственно в моющей камере. Препарат МЛ-51 или МЛ-52 помещают в контейнер, вводят его в моечную камеру и подают воду, нагретую до 70—80°С. При этом должна быть включена вентиляция. Загрузка препарата непосредственно в моющий бак запрещается. В одном литре воды растворяют 10—25 г моющего раствора. Ориентировочный период между сменой моющего раствора — 10 сут.

Моющие препараты МЛ-51 и МЛ-52 имеют целый ряд преимуществ перед другими моющими жидкостями, однако при засыпке порошка возможно образование «пылевого облака», а при размешивании — разбрызгивание и попадание раствора на слизистую оболочку глаз. При попадании порошкообразного препарата или брызг раствора в глаза следует промыть их водой. При разбавлении порошка следует работать в защитных очках, респираторе и перчатках. Руки до локтей следует смазать защитными кремами (силиконовый крем, паста ХИОТ-6, паста АБ-1).

Детали и узлы крупных электрических машин после разборки несколько раз протирают салфетками, смоченными в бензине.

§ 7.5. Дефектация деталей и узлов

При дефектации производят визуальный осмотр, измерения, испытания и в некоторых случаях электрический контроль. Общие правила дефектации электрических машин до 100 кВт приведены ниже.

Дефектация необмотанного статора. Визуально проверяют отсутствие трещин, отколов, деформаций в корпусе, состояние резьбовых отверстий, крепление сердечника в корпусе, наличие распушения крайних листов, выгорание отдельных листов и наличие коррозии. Плотность сборки сердечника проверяют щупом толщиной 0,2 мм, который под давлением руки должен входить между листами в середине сердечника не более чем на 2—3 мм. Распушение проверяют штангенциркулем, измеряя сердечник по дну паза и по верхней части зубцов. В сердечнике длиной не более 100 мм допускается распушение не более 2 мм, а при длине 101—150 мм — не более 3 мм. Производят измерение диаметра внутренней поверхности сердечника и замков для посадки щитов. Измерения производят в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В машинах общепромышленного исполнения точность обработки замков находится в пределах 7—9-го квалитетов.

Признаками брака являются: откол более двух лап, выгорание одного или более зубцов на величину, превышающую

$^1/_3$ длины сердечника или 50 мм, увеличение воздушного зазора более чем на 15% (в двухполюсных машинах более чем на 25%), наличие сквозных трещин в корпусе, значительное повреждение сердечника.

Дефектация необмотанного якоря (ротора). У якоря, подаваемого на дефектацию, должны быть отремонтированы центровые отверстия. Якорь (ротор) устанавливают шейками вала на призмы, производят внешний осмотр, измеряют диаметр сердечника для определения воздушного зазора расчетным методом, измеряют посадочные места шеек вала под посадку подшипников и вентилятора, измеряют биение шеек вала и сердечника, проверяют состояние шпоночных пазов и рабочего конца вала, осматривают коллектор (контактные кольца) для выявления подгаров, поджогов, оплавлений и неравномерной выработки. Измеряют сопротивление изоляции между коллекторными пластинами (контактными кольцами) и их биение относительно шеек вала. Поверхности под посадку подшипников должны иметь допуск $k4 - k6$, под посадку вентилятора — $h6 - h10$, под посадку коллектора — $k6 - k8$. Дефектация сердечника производится так же, как и сердечника статора.

Признаками брака якоря являются излом вала в любом сечении, значительный износ сердечника в результате коррозии, шлифующего действия пыли и т. п. Для короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя признаками брака является также обрыв литого алюминиевого стержня.

Дефектация подшипниковых щитов. Визуально проверяют отсутствие трещин и изломов. Измеряют посадочные места под подшипник и на корпус статора, состояние резьбовых отверстий, приливов. Поверхности под посадку подшипников должны иметь допуск $H6 - H7$, под посадку щита на корпус $h6 - h9$.

Признаками брака являются трещины и отколы в самой крышке и на посадочных поверхностях, откол крепежных приливов.

Дефектация щеточного узла. Визуально проверяют состояние щеткодержателей, пружин, выводных кабелей, крепление канатиков щеток. Зазор между щеткой и щеткодержателем должен быть не более 0,3—0,5 мм. Давление пружин на щетки у всех щеток должно быть одинаковым и соответствовать заданному. Измеряют сопротивление изоляции между щеткодержателями и корпусом.

Дефектация вентилятора, кожуха вентилятора. Внешним осмотром проверяют целостность поверхностей, отсутствие изломов, вмятин и т. п. В вентиляторах измеряют размер посадочной поверхности под вал, который должен иметь допуск по $H7 - H9$.

Дефектация крепежных деталей. Осмотром крепежных деталей (болты, гайки, шпильки) проверяют отсутствие трещин, надрывов возле головки болтов, деформацию шпилек, состояние

резьбы, наличие покрытия. Качество резьбы проверяют резьбовыми кольцами.

Признаками брака являются: повреждение более 20% ниток резьбы, трещины и надрывы возле головок болтов, уменьшение диаметра шпилек и болтов в результате коррозии более чем на 10%.

Контрольные вопросы

1. Как снимают детали, установленные по посадке с натягом?
2. Как снимают подшипники?
3. Какие способы извлечения обмотки из круглого провода вам известны?
4. Как извлекают из пазов высоковольтные обмотки?
5. В каких растворах моют детали?

ГЛАВА 8
МЕХАНИЧЕСКИЙ РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В процессе работы машины происходит изнашивание и ослабление креплений ее отдельных деталей. В электрических машинах различают механическое, молекулярно-механическое, коррозионно-механическое и другие виды изнашивания. Кроме того, некоторые детали при сохранении геометрических размеров и формы становятся непригодными к дальнейшей работе в результате потери упругости. Наиболее часто выходят из строя по этой причине щеточные пружины токосъемного устройства.

§ 8.1. Ремонт сердечников

Характерными повреждениями сердечников статоров (роторов и якорей) являются: ослабление посадки сердечника в корпусе (на валу) и сдвиг его в осевом направлении, распушение крайних листов, ослабление прессовки, выгорание или оплавление отдельных участков и износ внутренней (наружной) поверхности.

Ремонт при ослаблении посадки сердечника. Сердечник статора осматривают и проверяют состояние стопоров и кольцевых шпоночных канавок для них. Устанавливают сердечник на место по заводскому исполнению и закрепляют его вновь изготовленными стопорами или кольцевыми шпонками, причем отверстие для стопоров сверлят в новом месте. При ослаблении посадки сердечника ротора или якоря его выпрессовывают, ремонтируют или заменяют вал и устанавливают сердечник.

Ремонт при распушении крайних листов сердечника. Для устранения распушения крайних листов сердечника в машинах малой мощности пропиливают ножовочным полотном наклонные пазы в зубцах (рис. 8.1, *а*) и проваривают эти пазы электро-

дуговой сваркой электродом ОММ5 диаметром 2,0 мм, при этом зубцы *4* сжимают кольцом *3* при помощи шпилек *2,* пропущенных через пазы. Сварные швы *1* запиливают заодно с сердечником.

Распушенные листы также можно склеить, промазав их лаком, стянув кольцом и шпильками и высушив лак.

Для машин большей мощности, имеющих относительно высокие зубцы, указанный способ ремонта не применяют, так как не обеспечивается прочное и надежное скрепление листов и создаются замкнутые контуры для протекания вихревых токов, которые могут вызвать высокий местный перегрев стали. Надежным способом ремонта является установка дополнительной шайбы *5* с зубцами (рис. 8.1, *б*) или установка и закрепление отдельных нажимных пальцев *6* между сердечником и нажимной шайбой *7* (рис. 8.1, *в*). Такой ремонт возможен при распрессовке сердечника и частичной или полной перешихтовке сердечника.

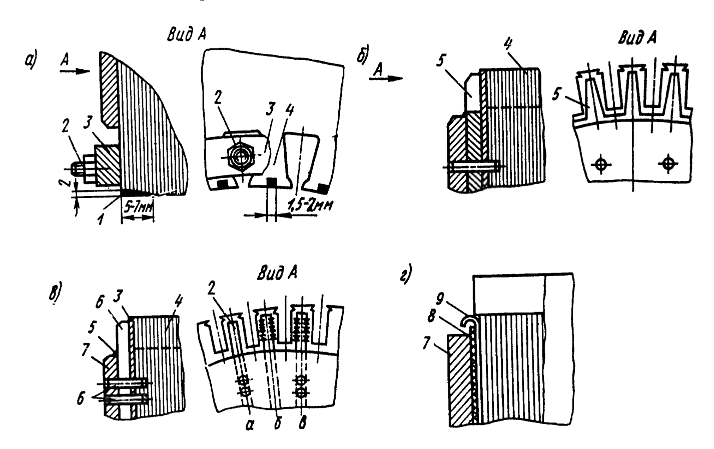


Рис. 8.1. Эскизы отремонтированных сердечников с использованием сварки (*а*), дополнительных нажимных шайб с зубцами (*б*), отдельных нажимных пальцев (*в*) и клиньев (*г*)

Ремонт при ослаблении прессовки сердечника. При общем ослаблении прессовки сердечников небольшого диаметра между нажимной шайбой *7* (рис. 8.1, *г*) и крайними листами сердечника через каждые 2—4 зубца забивают текстолитовые клинья *8,* обеспечивающие нормальную прессовку сердечника. Для определения необходимой толщины клина можно предварительно опрессовать сердечник на прессе или винтовом приспособлении

при усилии 1 МПа. По ширине забитый клин не должен перекрывать поверхность зубца. Для предохранения клина от выпадания его промазывают клеящим лаком и загибают крайний лист *9* сердечника. При местном ослаблении прессовки сердечника статора (погнутость, поломка или выпадание вентиляционной распорки) поврежденную распорку выправляют, вместо выпавшей распорки забивают текстолитовый клин и загибают на него крайние листы сердечника с двух сторон.

При ослаблении прессовки сердечников крупных электрических машин, в которых сердечник удерживается в спрессованном состоянии стяжными шпильками, производят их подтяжку. Для этого удаляют сварочные швы, стопорящие гайки стяжных шпилек от самоотвинчивания и фиксирующие съемное нажимное кольцо в аксиальном положении. Затем подтягивают четыре гайки, расположенные в диаметрально противоположных точках, и производят обтяжку нажимного фланца, завертывая остальные гайки в четырех диаметрально противоположных зонах последовательно в несколько обходов. По окончании подтяжки восстанавливают сварочные швы, стопорящие гайки и нажимной фланец от аксиального смещения.

Если гайки не подтягиваются или подтяжкой неплотность сердечника полностью не устраняется, ее ликвидируют установкой в зубцовую зону клиньев из стеклотекстолита марки СТЭФ-1. Поверхности для забивки клиньев обезжиривают бензином Б-70, затем спиртом и подсушивают на воздухе. Поверхности склеивания сегментов и клиньев промазывают лаком БТ-99 или эпоксидным клеящим лаком ЭЛ-4.

При применении лака ЭЛ-4 промазанные поверхности сушат на воздухе в течение 15 мин для удаления ацетона, входящего в состав лака. После установки клиньев для полной полимеризации производят сушку при температуре 20—25°С в течение 10—12 ч.

Если одновременно с ослаблением прессовки зубцов произошло нарушение лакового покрытия отдельных сегментов, прилегающих к месту установки клиньев на небольшую глубину от вершины зубца, то перед установкой клина между сегментами вставляют прокладки из слюды на лаке БТ-99 на глубину 20—35 мм.

Местные замыкания на поверхности расточки статора устраняются прокладкой лепестков слюды между сегментами или изолировкой жидким лаком БТ-99. Листы разводят специально заточенными узкими и тонкими стальными полосами необходимой длины. Большие площади замыканий устраняют травлением в концентрированной азотной кислоте. На статор наматывают намагничивающую и контрольную обмотки. Пропуская по намагничивающей обмотке ток, определяют место повышенного нагрева. Защищают близлежащие к ремонту места от кислоты шпак-

левкой и химически стойкой эмалью, нагревают зону повреждения до 75—105°С и, отключив ток, протравливают ее концентрированной азотной кислотой. После окончания травления остатки кислоты нейтрализуют 4—5-кратной обработкой салфетками, смоченными 10%-ным раствором кальцинированной соды, и промывают теплой дистиллированной водой (40—60°С), протирают салфетками и промывают спиртом.

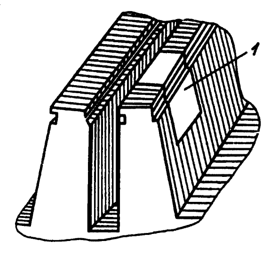


Рис. 8.2. Эскиз зубца сердечника со вставкой

Ремонт при выгорании участка зубца сердечника. При выгорании или оплавлении участка зубца сердечника производят удаление дефектной части и установку на ее место протеза *1* (рис. 8.2) из стеклотекстолита, который необходим для того, чтобы не выпучивалась расположенная в пазу обмотка. Удаление дефектной части производят острым зубилом (при необходимости возможно предварительное рассверливание), затем устраняют замыкания листов. По месту изготовляют протез и устанавливают его на клее ЭЛ-4.

§ 8.2. Ремонт корпусов и подшипниковых щитов

Корпуса электрических машин повреждаются относительно редко. Наиболее распространены следующие дефекты: отлом лапы у чугунной станины, износ или срыв резьбовых отверстий, износ посадочных мест под щиты, появление трещин. В подшипниковых щитах может быть износ посадочных поверхностей и трещины.

Исправление посадочных поверхностей в чугунных корпусах и щитах. Задиры и вмятины исправляют зашлифовкой, если общая площадь не превышает 4% от посадочной поверхности под подшипник и 15% от посадочной поверхности замков. Зашлифовку производят бархатным напильником или шлифовальной шкуркой, слегка смоченной в машинном масле. При больших повреждениях исправления производят наплавкой металла, запрессовкой втулки, нанесением герметика и другими методами.

Перед наплавкой детали нагревают в печи до 300—400°С. Наплавку производят чугунным электродом марки Б газовой горелкой, используя в качестве флюса буру или смеси с процентным составом:

Бура, %	56	23	—
Углекислый натрий, %	22	27	50
Углекислый калий, %	22	—	—
Азотно-кислый натрий, %	—	50	—
Двууглекислый натрий, %	—	—	50

После наплавки детали подвергают отжигу в печи при температуре 300—400°C в течение 4—6 ч и медленному охлаждению в выключенной печи в течение 12—16 ч.

Большое значение имеют правильная установка и крепление деталей на станке при механической обработке наплавленных мест. При обработке замков корпуса его устанавливают на внутреннюю поверхность или на один из замков, который не подвергался наплавке, а при обработке щитов — либо на одну посадочную поверхность, не имеющую наплавку, либо на технологические приливы при обработке двух наплавленных поверхностей.

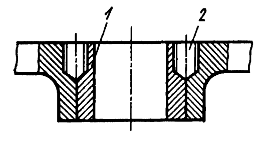


Рис. 8.3. Эскиз отремонтированного подшипникового щита

В щите посадочную поверхность под подшипник восстанавливают запрессованием втулки. Предварительно протачивают гнездо под подшипник так, чтобы использовать втулку толщиной 6—10 мм, а толщина стенки на щите оставалась не менее 10 мм. Проточку щита и изготовление втулки производят по размерам и допускам, обеспечивающим посадку с натягом. Прессование производят с подогревом. Втулку *1* (рис. 8.3) закрепляют в щите двумя диаметрально расположенными стопорами *2*. Глубина сверления под стопор должна быть не менее двух диаметров стопора.

Износ посадочных поверхностей не более 0,2 мм в щитах (и на валах) восстанавливают нанесением герметика 6Ф, который выпускается в виде листов желтого цвета толщиной до 5 мм. Этот материал стоек к воздействию воды, щелочи и масел, но растворяется в ацетоне, толуоле, бензоле и этилбутилацетате. Он обладает хорошей адгезией к стали, чугуну, алюминиевым и медным сплавам. Для приготовления раствора герметик нарезают мелкими кусочками и помещают в посуду с растворителем на 24 ч. Посуду плотно закрывают и периодически взбалтывают. Вязкость приготовленного раствора должна быть в пределах 33—34 с по вискозиметру ВЗ-4. Срок хранения раствора два-три года в плотно закрытой посуде и в затемненном месте.

Для нанесения герметика необходимо зачистить поверхность и обезжирить ее ацетоном. Герметик наносят кисточкой и сушат на воздухе не менее 20 мин. При необходимости увеличить слой герметика его наносят несколько раз и после каждого раза сушат на воздухе. Окончательную сушку производят при температуре 140°C в течение 2 ч. Герметик обладает хорошими виброгасящими свойствами.

Герметик нетоксичен, но при сушке возможно выделение в небольших количествах замещенного фенола и аммиака, поэтому при работе необходимо пользоваться резиновыми перчатками

и спецодеждой. Раствор герметика относится к легковоспламеняющимся жидкостям.

Заварка трещин. Заварку трещин допускается применять только в тех случаях, когда она не вызовет изменений формы посадочных поверхностей. Предварительно засверливают отверстия на расстоянии 8—10 мм от концов трещины сверлом 6—8 мм на глубину трещины. Затем трещину разделывают под заварку с углом не менее 70° и притупляют кромки. Поверхности, прилегающие к месту заварки, зачищают до металлического блеска абразивным кругом или металлической щеткой. Заварку производят электросваркой постоянным током обратной полярности 45—60 А на 1 мм в зависимости от электрода. В качестве присадочного материала используют медные стержни диаметром 3—6 мм с оболочкой из листовой жести толщиной 0,3 мм с тонкой меловой обмазкой. При сварке используют флюс — бура 50%, железные опилки — 25%, железная окалина — 25%. Сварку ведут короткими участками не более 40 мм, не допуская перегрева основного материала. Для отвода тепла применяют медные прокладки. Каждый участок сразу после сварки простукивают молотком массой 500 г. Швы зачищают от шлака металлической щеткой.

Восстановление отломанных лап корпуса. Кромки сопрягаемых деталей разделывают под углом 30° с обеих сторон на глубину не менее $^{1}/_{4}$ толщины. Изготовляют 2—3 ввертыша *2* из стального прутка диаметром не менее $^{1}/_{2}$ толщины детали. Размечают и засверливают отломанную *1* и основную детали *3* (рис. 8.4) и нарезают резьбу в основной детали. Завертывают ввертыши *2* в основную деталь и надевают на них отломанную часть. Проваривают газовой сваркой отломанную часть по разделке, придерживаясь технологии, рассмотренной в начале параграфа. Швы зачищают стальной щеткой. Размечают и просверливают отверстие в лапе.

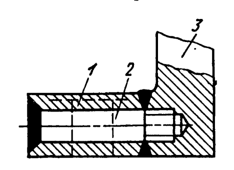


Рис. 8.4. Эскиз восстановленной лапы корпуса машины

Восстановление резьбовых отверстий. Износ и срыв резьбы в крепежных отверстиях происходит при многократных сборках и разборках резьбовых соединений или чрезмерно больших моментах затяжки. В стальных корпусах гнезда с изношенной резьбой заваривают электродуговой сваркой, просверливают отверстия и нарезают резьбу того же диаметра. В чугунных и алюминиевых корпусах неисправное резьбовое отверстие рассверливают под пробку и нарезают резьбу большего диаметра. Изготовляют футорку, завертывают ее в отверстие и проваривают соединение электросваркой. Сварной шов зачищают, просверливают отверстие и нарезают резьбу того же диаметра.

В алюминиевых деталях целесообразна замена болтов на шпильку и гайку. В корпусе устанавливают на клей шпильку, на которую будет надеваться деталь и которая крепится гайкой. В этом случае износ соединения при сборке и разборке значительно уменьшится, так как происходит свинчивание двух стальных деталей. Допускается восстанавливать резьбовое отверстие, если позволяет конструкция, рассверливанием до ближайшего большего диаметра размерного ряда резьбы.

§ 8.3. Ремонт валов

К основным повреждениям вала относятся риски, задиры на посадочных поверхностях и шпоночных пазах, изменение формы и размеров шпоночных пазов, уменьшение диаметра посадочных поверхностей под подшипник и сердечник, овальность и конусность посадочных поверхностей, поломка, забитые центровые отверстия.

Риски и задиры устраняются зашлифовкой, если их общая площадь не превышает 4% от посадочной поверхности под подшипник и 10% от посадочной поверхности под шкив, муфту, шестерню, шпонку. Зашлифовка производится бархатным напильником или шлифовальной шкуркой, слегка смоченной маслом. Если размеры посадочных поверхностей выходят за размеры допусков, указанных в чертежах, или дефекты превышают величины, оговоренные выше, такие поверхности должны быть восстановлены одним из следующих методов.

Ремонт с использованием электродуговой наплавки. Перед наплавкой уступы высотой 4 мм и более протачивают на конус под углом 15—20°. Вал или ротор устанавливают сердечником на вращающиеся ролики и производят наплавку, накладывая швы в очередности, обозначенной цифрами на торце вала (рис. 8.5, *а*), при этом шов предыдущего слоя обстукивают молотком и зачищают проволочной щеткой. Такой порядок наложения сварочных швов вызывает минимальные деформации. Полосы наплавленного металла должны выходить за пределы восстанавливаемой поверхности на 0,5—0,7 и 1,0—1,5 диаметра *d* вала, чередуясь через один. При наличии шпоночного паза наплавку следует начинать с него. Наплавку ведут электродами Э42 ОММ-5 или 346Т 03С-4. После наплавки производят механическую обработку.

Центровые отверстия на торце вала восстанавливают следующим образом. Наплавку торца вала ведут от его центра к периметру по спирали (рис. 8.5, *б*). Затем на токарном станке обрабатывают торец, выдерживая общую длину вала, и засверливают центровые отверстия. При восстановлении центровых отверстий базой служит наружная поверхность сердечника ротора.

Разработанный шпоночный паз восстанавливают электродуговой наплавкой с последующей механической обработкой. Если шпоночные пазы повреждены в вале и сердечнике, то следует сделать шпоночные пазы большего размера и поставить новую шпонку. Если поврежден один шпоночный паз, то фрезеруют его

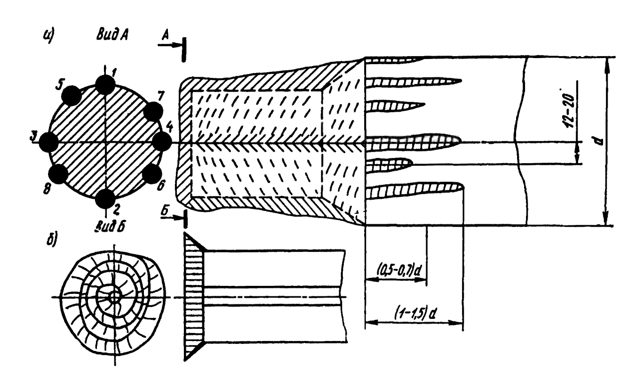


Рис. 8.5. Эскизы валов, у которых электродуговой наплавкой восстановлены посадочная поверхность (*а*) и торец (*б*)

на больший размер и устанавливают ступенчатую шпонку или фрезеруют новый шпоночный паз со смещением его относительно старого на четверть окружности. Выбор способа ремонта зависит от возможностей ремонтного цеха.

Ремонт с использованием вибродуговой наплавки. Автоматическую и полуавтоматическую вибродуговую наплавку открытой дугой и в среде защитного газа применяют для восстановления цилиндрических деталей диаметром 8—200 мм. При реализации этого метода не требуется сложного оборудования, обеспечивается высокая производительность и получается твердая поверхность без термообработки. Вибродуговая наплавка является разновидностью электродуговой сварки и осуществляется электродом, вибрирующим с частотой 20—100 Гц.

Деталь, зажатая в патроне или центрах станка, вращается со скоростью 4,0—0,7 об/мин, а сварочная (вибродуговая) головка перемещается вдоль этой детали со скоростью $v_{пр}$. Перенос металла происходит небольшими каплями, что облегчает формирование плотных слоев наплавленного металла. Напряжение источника тока 14—24 В, диаметр электродной проволоки $d_э = 1{,}6 \div 2{,}5$ мм, сварочный ток 100—250 А. К месту наплавки подают охлаждающую жидкость, через которую в дугу вводят

соли, содержащие ионизирующие элементы для стабилизации горения дуги. Толщина наплавляемого слоя 3,0—5,0 мм.

Выбор режимов производят в зависимости от типа применяемой головки, при этом должны выдерживаться следующие соотношения:

$$\frac{v_{пр}}{v_п} = 1,0 - 1,2, \quad B = (1,2 \div 1,7)\, d_э,$$

где $v_п$ — скорость наплавки (до 1,5 м/мин); B — шаг наплавки.

Перед наплавкой поверхность вала должна быть очищена от загрязнений и масла. Шпоночные пазы необходимо заделать медными или графитовыми вставками так, чтобы они выступали на 1 мм над чистовой толщиной наплавленного металла.

Ремонт с использованием газоплазменного напыления. Газоплазменным напылением восстанавливают цилиндрические поверхности, имеющие сплошную выработку на глубину до 3 мм. При восстановлении поверхность предварительно механически обрабатывают, обезжиривают, напыляют подслой, обеспечивающий прочную связь основного металла с рабочим слоем покрытия и защиту основного металла от окисления, напыляют рабочий слой и механически обрабатывают напыленный слой.

Львовским филиалом ЦКБ Союзэнергоремонт разработана установка для нанесения покрытий на валы диаметром до 250 мм. Ремонтируемый ротор *7* (рис. 8.6) одним концом вала

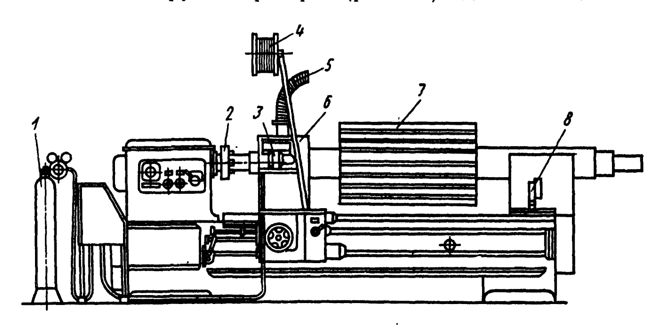


Рис. 8.6. Установка для нанесения покрытий газоплазменным напылением

зажимается в патрон *2*, а другой опирается на регулируемую роликовую опору *8*. Распылительная головка *3* газового металлизатора МГИ-4П располагается на суппорте станка. Проволока подается с катушки *4*. Питание осуществляется от баллонов *1* с пропан-бутаном и кислородом. Для отсоса аэрозолей металлов

и токсичных продуктов сгорания газов установка оборудована вытяжной вентиляцией, состоящей из зонта *6*, установленного в зоне горелки, трубопровода *5*. Частота вращения вала 0,1—0,6 об/с.

Предварительной механической обработкой добиваются устранения эксцентричности, конусности и овальности мест под напыление и удаляют слой металла, пораженный коррозией. Затем для улучшения сцепления между напыляемым подслоем и поверхностью вала ее обрабатывают резцом с углом при вершине 55—60° и передним углом, равным нулю (рис. 8.7). Резец устанавливается ниже оси детали с вылетом 100—150 мм, вследствие чего в процессе работы он вибрирует и получается рваная поверхность вала. Подготовку поверхности к напылению можно производить сетчатой накаткой роликами. На концах шеек протачивают концевые канавки для выхода резца. Затем напыляют подслой из условия перекрытия на 0,15—0,25 мм вершин равной поверхности и напыляют рабочий слой. По окончании напыления накрывают напыленную поверхность и прилегающие участки асбестом и выдерживают до полного охлаждения. Перерывы между операциями должны быть минимальными.

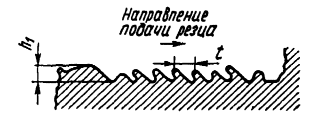


Рис. 8.7. Профиль поверхности вала, подготовленной к напылению:
h — глубина (0,7 — 0,8 мм); *t* — шаг (1,6—2,0 мм)

Электромеханический метод ремонта. Обрабатываемую деталь устанавливают на токарный станок. В зону контакта детали и инструмента подается переменный электрический ток 350—1500 А напряжением 2—6 В. Один провод подводится к электроконтактному приспособлению для передачи тока к вращающейся детали, а второй — к инструменту, который изолирован от корпуса.

Электрическое сопротивление контакта «деталь — инструмент» велико ввиду малой площади, поэтому в месте контакта выделяется значительная энергия, которая мгновенно нагревает зону контакта до высокой температуры. Поверхность детали, подвергаясь в месте контакта высокотемпературному нагреву и действию радиального усилия инструмента, в зависимости от его профиля сглаживается или высаживается. Объем нагреваемого металла мал по сравнению с массой детали, поэтому охлаждение поверхностного слоя происходит с высокой скоростью за счет отвода тепла внутрь детали. При этом происходит закалка поверхностного слоя.

Электромеханический метод применяют для чистовой обработки поверхностей взамен шлифовки (чистота поверхности $R_a = 0{,}63 \div 0{,}32$), упрочнения поверхностного слоя на глубину

0,2—0,3 мм для повышения износостойкости и усталостной прочности, восстановления размера изношенной поверхности до 0,4 мм без добавления металла и свыше 0,4 мм с добавлением металла.

Процесс состоит из двух операций — высадки поверхностного слоя изношенной поверхности (рис. 8.8, *а*) и сглаживания (рис. 8.8, *б*) до определенного размера. Высадкой достигается образование винтового выступа на поверхности детали диаметром D_2. Стружка при этом не срезается, а происходит пластическая деформация поверхности слоя. Сглаживание производится радиусной пластиной до размера D_0, при этом происходит повышение твердости поверхности на глубину до 0,15 мм.

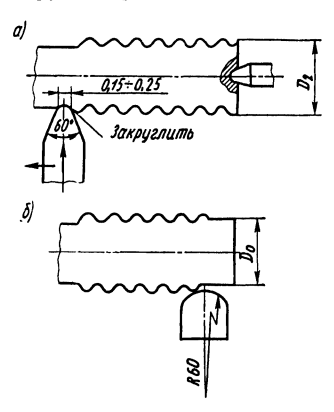


Рис. 8.8. Эскизы валов после высадки (*а*) и сглаживания (*б*)

Процесс восстановления поверхности с добавлением металла состоит из трех операций: высадка поверхностного слоя, приваривание металла в высаженную спиральную канавку роликовым инструментом, механическая обработка восстановленной поверхности.

Восстановление посадочной поверхности вала под сердечник ротора производят в случае ослабления посадки. У короткозамкнутого ротора выпрессовы-

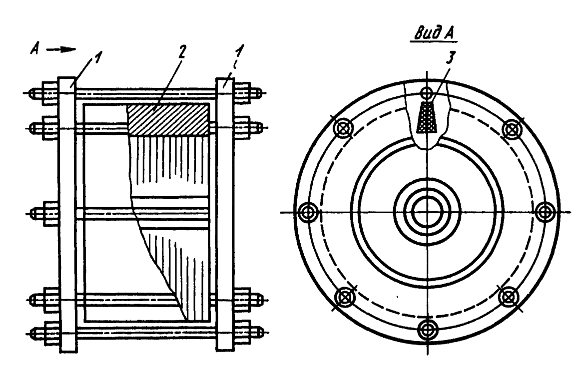


Рис. 8.9. Приспособление для снятия сердечника с вала

вают вал из сердечника и отправляют его на восстановление поверхности. У фазного ротора (якоря) удаляют обмотку, снимают контактные кольца и обмоткодержатели. В два диаметральных паза устанавливают стальные калибры *3* (рис. 8.9), изготовленные по форме и длине пазов, зажимают сердечник *2* между двух массивных шайб *1* и выпрессовывают вал.

Перед восстановлением посадочной поверхности вала производят измерение внутреннего диаметра сердечника и вала и определяют необходимый размер вала после ремонта. При величине зазора между сердечником и валом до 0,12 мм производят продольную накатку посадочной поверхности, при большей величине восстанавливают посадочную поверхность добавлением металла одним из вышеописанных способов.

После восстановления посадочной поверхности производят запрессование вала в сердечник, соблюдая такое расположение отдельных деталей, которое было до разборки.

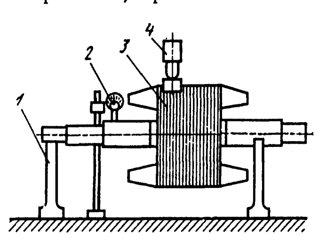


Рис. 8.10. Схема исправления кривизны вала

Исправление кривизны вала осуществляется следующим образом. Медленно поворачивая вал в центрах или призмах, по стрелочному индикатору *2* определяют его кривизну (рис. 8.10). Правку производят при кривизне более 0,02 его длины, не демонтируя сердечник и контактные кольца. Ротор *3* устанавливают на призматические опоры *1* и в месте максимального выгиба воздействуют прессом *4*. Если место максимального выгиба находится на участке вала вне сердечника, то опору со стороны неизогнутой части располагают возможно ближе к сердечнику, а со стороны изогнутой части — возможно дальше от него. Усилие нажатия пресса зависит от диаметра вала, величины прогиба и места его расположения. Определить расчетом усилие затруднительно, поэтому правку производят в несколько приемов, измеряя каждый раз индикатором 2 величину прогиба и подбирая усилие для следующего приема. Правку прекращают при значениях выгиба менее 0,04—0,05 мм.

§ 8.4. Ремонт короткозамкнутой обмотки ротора

Короткозамкнутые обмотки роторов выполняют литыми или сварными. Типичные повреждения литой обмотки — разрыв короткозамыкающего кольца и обрыв стержня в пазу, а сварной — ослабление или нарушение контакта между стержнями и кольцом, обрыв или подгар стержней. При осмотре сварной обмотки

следует выявлять повреждения, которые могут привести к обрыву стержня или его распайки с короткозамыкающим кольцом.

К таким повреждениям относятся наличие цветов побежалости на короткозамыкающих кольцах в местах паяных соединений со стержнями, подгар болтов, соединяющих короткозамыкающие сегменты пусковых обмоток синхронных двигателей, волнообразный изгиб короткозамыкающих колец (или стержней) от неравномерного удлинения отдельных стержней, изгиб концов стержней в направлении вращения ротора от усилия скручивания короткозамыкающим кольцом, прогиб выступающих из сердечника концов стержней, смещение клетки вдоль оси ротора.

Ремонт литой обмотки. Трещины короткозамыкающего кольца (число трещин не более двух на каждом кольце) устраняют пайкой. Поврежденные места очищают от грязи и промывают бензином. Места трещин расширяют и разделывают по форме ласточкина хвоста, но не более $^2/_3$ толщины кольца. Ротор устанавливают так, чтобы дефектное место располагалось горизонтально, нагревают газовой горелкой до температуры 350—400°С и залуживают припоем, состоящим из 15% олова, 20% кадмия, 65% цинка или 63% олова, 33% цинка, 4% алюминия. В процессе лужения протирают залуженную поверхность щеткой из кардоленты. Облуженную трещину заполняют указанным припоем, подавая его с прутка. Излишки припоя снимают стальной гладилкой в горячем состоянии. Трещины также могут быть устранены аргонно-дуговой сваркой.

Литые обмотки, имеющие обрывы стержней, не восстанавливаются. При обрывах стержней можно выплавить алюминий из пазов и залить новый. Однако такой ремонт даже на крупных электроремонтных предприятиях не производят из-за того, что для заливки обмотки требуется большое количество оснастки (на каждый тип ротора — свой литейный кокиль), первичного алюминия и нет гарантий в получении высокого качества заливки.

Ремонт сварной обмотки. При ослаблении или нарушении контакта стержня и кольца необходимо зачистить и пропаять это место медно-фосфорным припоем. При пайке не следует допускать перегрева меди. При ослаблении стержня в пазу выполняют расчеканку. Ослабленные стержни можно обнаружить различными способами, например постукивая молотком по специально заточенному тупому зубилу, рабочая часть которого входит в шлиц с небольшим зазором. Дребезжание и перемещение стержня свидетельствуют о слабой его посадке в пазу. Расчеканку производят ударами чекана по прямоугольной части стержня на всей длине сердечника.

Трещины стержней, расположенные на выступающей из сердечника части, устраняют сваркой, если ее глубина не более $^1/_4$ толщины стержня. Если трещина более глубокая, в этом ме-

сте стержень разрезают и удаляют, высверливая участок, припаянный к короткозамкнутому кольцу. Через отверстие в короткозамкнутом кольце *1* (рис. 8.11) высверливают в оставшейся части стержня *3* отверстие глубиной 6—7 мм. На место удаленной части стержня устанавливают вставку *2*. Зазор *а* при пайке медно-фосфорным припоем МФ-3 должен быть равен 0,2, а при пайке серебросодержащим припоем — 0,1—0,15 мм. Серебросодержащий припой применяют при линейной скорости 50 м/с и более.

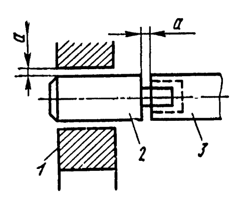


Рис. 8.11. Схема установки вставки стержня

При необходимости удаления стержня производят его высверливание сверлами с удлиненными хвостовиками или прорезают стержень через шлиц паза, ослабляя его посадку, а затем выбивают из паза на 50—80 мм и извлекают механизмом с захватом. При ремонте возможна замена всех стержней.

Отремонтированные роторы необходимо динамически балансировать.

§ 8.5. Ремонт коллекторов и контактных колец

Ремонт коллекторов на пластмассе. Наиболее часто встречающиеся дефекты: царапины, выработка и подгар контактных пластин, трещины в пластмассе, местное выгорание пластмассы, электрический пробой изоляции, замыкание пластин на корпус и между собой, распайка пластин с обмоткой. Ремонтируются эти коллекторы без разборки.

При обнаружении незначительных перекрытий на поверхности пластмассы их зачищают стеклянной бумагой, протирают салфетками и не менее двух раз покрывают эмалью воздушной сушки. Прожоги на значительной площади удаляют проточкой на токарном станке на глубину 2—3 мм. Проточенную поверхность шлифуют стеклянной шкуркой, обезжиривают и покрывают эмалью. Трещины глубиной до 3 мм и прогары удаляют сверлением. Обработанные места очищают от пыли, обезжиривают и заполняют эпоксидным компаундом холодного отвердевания. После застывания компаунда его покрывают эмалью. Замыкание пластин в местах, доступных для осмотра, устраняют расчисткой дорожек между пластинами и обработкой оплавленных или обгоревших пластин шабером.

Рассмотренные дефекты, как правило, происходят на стороне коллектора, свободной от обмотки, так как эта сторона загрязняется пылью и маслом. При ремонте коллектор можно с вала не снимать. На стороне коллектора, к которой припаяна обмотка,

такие дефекты встречаются редко, и обнаружить их можно только после того, как обмотка отпаяна от коллектора.

Для устранения сильных подгаров, выработок, неровностей, биения рабочей поверхности коллектор протачивают по наружной поверхности не снимая с вала. Для проточки якорь устанавливают в центре или на люнеты токарного станка. После проточки производят продораживание и снятие фаски.

Ремонт коллекторов на стальной втулке. В отличие от коллекторов на пластмассе коллекторы на стальной втулке в некоторых случаях разбираются и в них заменяются отдельные контактные и изоляционные пластины. Замена пластин может производиться без снятия и со снятием коллектора с вала.

В обоих случаях разборка производится следующим образом. Обвязывают коллекторные пластины стальной отожженной проволокой *7* (рис. 8.12, *а*), отвертывают стопоры *2*, гайку *1* и снимают нажимной конус *3* вместе с бандажом *4* и манжетой *6*, осматривают манжету и пластины с торца. При незначительных повреждениях манжеты (пробой) очищают поврежденное место и устанавливают на клей миканитовые прокладки. При подгаре пластин с торца зачищают поврежденное место. Для снятия кольца коллекторных пластин *5* необходимо отпаять обмотку от петушков *10*. Если обмотка припаяна, производят распайку па-

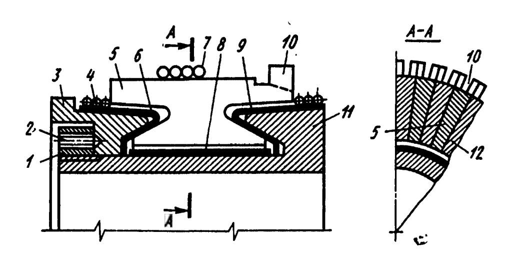


Рис. 8.12. Коллектор на стальной втулке

яльником, если приварена — производят проточку торца петушков на глубину проварки. Как правило, глубина проварки не более 2—3 мм в зависимости от диаметра коллектора. В конструкции коллектора со сваркой обмотки предусматривается возможность одно- или двукратной проточки места сварки. После отсоединения обмотки снимают кольцо коллекторных пластин *5* с нажимного конуса *11* и осматривают изоляционный цилиндр *8* и вторую манжету *9*. При необходимости их исправляют.

При пробое изоляционной прокладки *12* между коллекторными пластинами или сильном выгорании коллекторных пластин

(не более 4—5 шт.) необходима их замена. Это сложная операция — выемка даже одной коллекторной пластины может нарушить монолитность всего коллектора и привести к потере правильной геометрической формы. Для такого ремонта применяют приспособление, показанное на рис. 8.13.

Коллектор устанавливают на подставку *5*, на пластины надевают диск *3* и стягивают шпильками *4*. Отвертывают стопоры, гайку *1* и снимают конус *2* и манжету. Диск *3* имеет вырезы *6* напротив коллекторных пластин, подлежащих замене. Поврежденные пластины выбивают в радиальном направлении зубилом, нанося по нему легкие удары молотком. Взамен извлеченных пластин устанавливают новые из меди той же марки. Новые пластины и новые изоляционные прокладки предварительно спрессовывают. Производят сборку коллектора. Коллектор необходимо проточить и произвести его формовку. Формовка производится при скорости вращения, превышающей на 20% номинальную, и высокой температуре. Формовку, подпрессовку и подтяжку нажимных конусов прекращают при биении менее 0,03 мм.

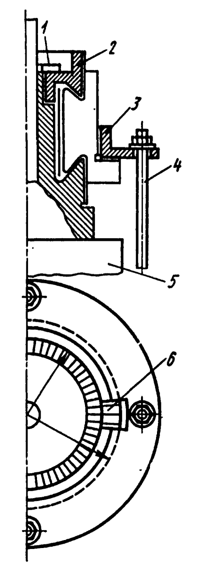


Рис. 8.13. Приспособление для замены коллекторных пластин

Ремонт коллекторов крупных электрических машин содержит те же операции, что и ремонт коллекторов на стальной втулке. При неравномерном износе рабочих поверхностей пластин, биении поверхности коллектора производят его проточку при вращении якоря в собственных подшипниках. Для этого вынимают из гнезд щетки, снимают часть щеткодержателей, на фундаментной плите устанавливают суппорт с резцедержателем и, вращая якорь приводным двигателем, производят проточку, защищая обмотку от попадания стружки парусиновыми чехлами.

Причиной биения коллектора может быть ослабление крепления пластин. В этом случае подтягивают стяжные шпильки сначала в холодном состоянии, а затем с подогревом до 100—110°С и протачивают поверхность.

При замене коллекторных пластин на коллектор надевают хомут, снимают левый нажимной конус и извлекают пластину через прорезь в хомуте. Последующие операции описаны выше. При сильном износе всех пластин их заменяют. Процесс изготовления пластин и сборки аналогичен изготовлению коллектора на электромашиностроительном заводе.

Ремонт контактных колец. При выработке поверхности контактных колец производят их проточку. Капитальный ремонт выполняют в случае пробоя изоляции на втулку или между кольцами, при выгорании контактной шпильки или большом износе колец. При капитальном ремонте кольца спрессовывают с втулки, срезают с нее миканитовую изоляцию, тщательно очищают наружную поверхность. Изолирование втулки и сборка колец производятся так же, как на электромашиностроительных заводах.

§ 8.6. Ремонт подшипников

Ремонт подшипников качения. Повышение сроков службы подшипников качения, применяемых в электрических машинах, является одной из задач, способствующих снижению себестоимости ремонта. Задачу можно решить путем технически обоснованного отбора подшипников для повторного использования при ремонте. Опыт эксплуатации показал, что если подшипники отвечают определенным техническим требованиям при их проверке, то они могут быть использованы повторно и вполне надежно работать.

При демонтаже шарикоподшипников с вала ротора (якоря) с использованием специальных съемников на прессах или разборочных стендах должны выполняться следующие требования: усилие следует прилагать только к внутреннему кольцу подшипника; подшипник, снятый за наружное кольцо, бракуется; не допускается применение молотков и зубил; запрещается наносить удары по сепаратору, шарикам и другим деталям.

Демонтированные подшипники промываются в специальных растворах, осматриваются и контролируются с помощью специального инструмента. Подшипники, имеющие следы перегрева (цвета побежалости) на поверхности колец, трещины и отколы, выкрашивания и раковины на дорожках качения шариков и колец, выработки дорожек качения колец и коррозию на дорожках качения и шариках, бракуются. При наличии коррозии на посадочных поверхностях колец ее зачищают шлифовальной шкуркой № 6 с маслом и промывают. Проверяют наличие обрыва, среза или ослабления сепаратора. Ослабевшие заклепки подклепывают, а отсутствующие заменяют новыми.

Располагая подшипник в горизонтальной плоскости, вращают наружное кольцо при неподвижном внутреннем и определяют плавность хода, отсутствие толчков и быстрого торможения. Для исключения различных толкований перечисленных дефектов на предприятиях устанавливают эталоны, утвержденные соответствующими должностными лицами.

В подшипниках, признанных годными по результатам осмотра и проверки на легкость вращения, измеряют зазор между

сепаратором и бортом внутреннего кольца, величины радиальных и осевых биений по дорожкам качения наружного и внутреннего колец. Зазор между сепаратором и бортом внутреннего кольца подшипника измеряют щупом, при этом сепаратор должен быть приведен к внутреннему кольцу. Для подшипников со стальными штампованными сепараторами наименьшее значение зазора — 0,2 мм. Измерение радиальных и осевых биений производят по схемам рис. 8.14 на специальных приспособлениях или приборах. При превышении допуска подшипники бракуют. Незначительные отклонения посадочных мест на наружном и внутреннем кольцах можно устранить нанесением герметика.

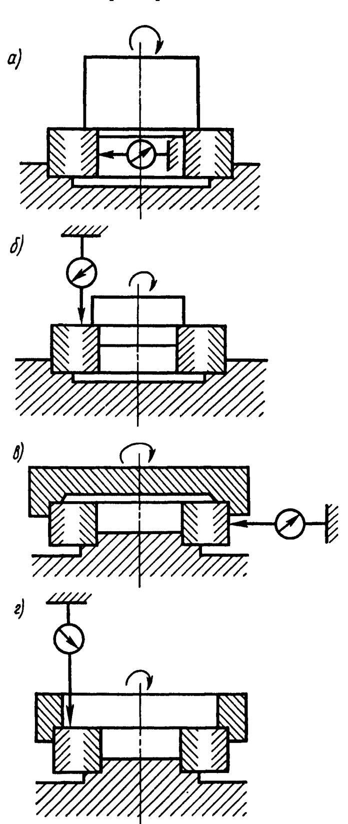


Рис. 8.14. Схемы проверки радиального (*а* и *б*) и осевого (*в* и *г*) биения внутреннего и наружного колец подшипника

Ремонт подшипников скольжения. В современных машишинах подшипники скольжения используют только для машин мощностью свыше 1000 кВт, которые выполняются на стояковых подшипниках. Головки и вкладыши подшипников делают разъемными по горизонтальной плоскости. Вкладыши подшипников залиты баббитом. Необходимость ремонта вызывается утончением слоя баббита, отслаиванием, растрескиванием и выкрашиванием баббита, подплавкой или полной выплавкой баббита, рисками и задирами на рабочей поверхности баббита и механическими повреждениями баббита.

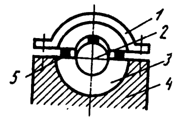
При утончении и хорошем сцеплении баббита с основой вкладыша производится наплавка дополнительного слоя с припуском на механическую обработку. Если толщина слоя менее 0,8 мм, требуется полная замена баббита. Полную замену также производят при тре-

щинах и выкрашивании баббита или его отслаивании от поверхности более чем на 40—50% площади. Полную замену баббита производят наплавкой или заливкой. Плотность прилегания баббита к телу вкладыша проверяют простукиванием вкладыша легкими ударами латунного молотка. Звук должен быть чистым, без дребезжания и глухих тонов.

Проверку также можно производить с помощью керосиновой пробы.

Производят проверку зазоров между верхним полувкладышем и валом. Так как с торца подшипника нет подхода к зазору, а при большой длине вкладыша он может быть неравномерным, измерение производят следующим образом. Берут шесть небольших кусочков *5* (рис. 8.15) свинцовой проволоки диаметром около 1 мм, два из которых устанавливают на шейку вала *2*, а остальные четыре — на стыковочную поверхность нижней половины вкладыша *3*. Накладывают верхнюю половину вкладыша и крышку *1* подшипника и равномерно стягивают болты, крепящие крышку к корпусу *4* подшипника. Болты затягивают так, чтобы смять проволоки. Затем снимают крышку и верхнюю половину вкладыша, извлекают проволоки и измеряют их толщины, которые составляют a_1, b_1, c_1 и a_2, b_2, c_2. Зазор в произвольной точке a_n

$$\delta_n = a_n - (b_n + c_n)/2.$$



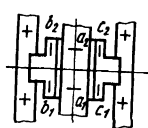
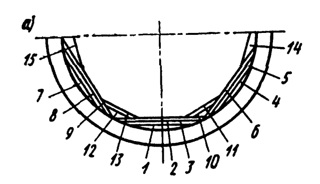


Рис. 8.15. Схема измерения зазора между шейкой вала и вкладышем

Наплавку баббита производят присадочными прутками, расплавленными как ацетилено-кислородным (или пропаном-бутановым), так и водородным пламенем. Предпочтительнее применение пропан-бутанового пламени, которое благодаря более низкой температуре обеспечивает лучшую структуру наплавляемого слоя, и водородного пламени, созданного пламени, созданного смесью газов из 90% водорода и 10% кислорода, причем 10% кислорода обеспечивают полное сгорание 20% водорода, а остальные 70% водорода образуют вокруг расплавленного баббита защитную среду, препятствующую проникновению кислорода к расплавленному металлу, чем предотвращается его окисление.

Структура баббита, наплавленного в струе водородного пламени, более мелкозернистая и плотная, износостойкость его выше. Кроме того, в струе водородного пламени можно наплавлять вместо дорогого баббита Б-83 более дешевый БН, имеющий высокие антифрикционные свойства, но не применяемый при заливке вследствие сложности технологии его расплавления и заливки.

Наплавку производят сварочной головкой СЧ-18 или ГС-53 с наконечником № 4—6. Баббитовые прутки, отлитые в угловой стали, должны быть длиной 400—700 мм и иметь в сечении прямоугольный треугольник с катетом 10—20 мм. Вкладыши подогревают до 50—60 °С, но не выше 80—100 °С. Наплавку производят полосами, которые должны занимать нижнее горизонтальное положение. Толщина наплавляемого слоя за один раз должна быть не более 5—6 мм, при большей толщине наплавляют требуемое количество слоев *1—15* в порядке, показанном на рис. 8.16, *а*. Перед наплавкой последующего слоя предыдущий зачищается металлической щеткой до блеска. Схема наплавки полос *16—24* баббита на утонченный слой показана на рис. 8.16, *б*. Укладывать на наплавляемую поверхность присадочные прутки горизонтально и расплавлять их категорически запрещается.



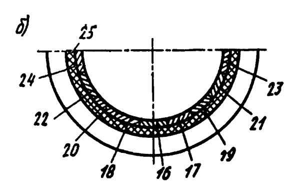


Рис. 8.16. Схема наплавки баббита (*а*) и доплавки (*б*) на утонченный слой

Детали, заливаемые баббитом, могут быть цельными или разъемными — из половинок. У разъемных деталей больших размеров каждую половинку заливают отдельно. Заливка осуществляется с соблюдением общих правил литья. Вкладыши перед заливкой должны быть нагреты до 270—300°С, а стержень (для образования отверстия в отливке) не ниже 400°С. Остывание баббита после заливки должно происходить снизу вверх. Для этого охлаждают нижнюю часть приспособления и подогревают верхнюю. Температура заливаемого баббита должна быть 400—410°С для марки Б-83 и 440—470°С для марки Б-16.

Контрольные вопросы

1. Как исправляют ослабление прессовки сердечников?
2. Как исправляют резьбовые отверстия в корпусах?
3. Как исправляют ослабление посадки подшипников в щитах и на валах?
4. Какие дефекты могут быть исправлены на пластмассовых коллекторах и коллекторах на стальной втулке?
5. Какие дефекты могут быть устранены у литой и сварной короткозамкнутой обмотки роторов?
6. Как восстанавливают посадочные поверхности на валах?

ГЛАВА 9
РЕМОНТ И УКЛАДКА ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

При капитальном ремонте, как правило, производится полная замена обмотки и изоляции машины. Обмотки, изготовленные из круглого провода, и многовитковые обмотки, изготовленные из прямоугольного провода небольшого сечения, как правило, не восстанавливают, а изготовляют вновь. Обмотки, изготовленные из прямоугольного провода большого сечения, используют повторно, заменяя витковую и корпусную изоляцию. Во всех случаях ремонта обмотки подлежит замене вся изоляция. Обмотку из круглого провода укладывают вручную, так как механизация процесса сдерживается низким качеством сердечников после извлечения обмоток, большой номенклатурой и малыми количествами однотипных машин.

§ 9.1. Восстановление круглых обмоточных медных проводов

На промышленных предприятиях с крупными электроремонтными цехами производят восстановление круглого медного провода диаметром 0,8—1,6 мм. Восстановление провода имеет большое значение в условиях острого дефицита обмоточной меди.

Последовательность технологических операций при восстановлении провода такова: извлекают поврежденную обмотку, удаляют изоляцию провода, подготавливают поверхность провода к эмалированию, наносят ее на провод и проверяют качество. Размягчают пазовую изоляцию и клинья статора, используя 5%-ный раствор каустической соды (см. § 7.2). Из паза выбивают остатки клиньев и разбирают схему соединения катушек. Провод извлекают из паза по одному проводнику, стараясь не порвать и не повредить его, и помещают в ванну с 15%-ным раствором каустической соды для окончательного удаления старой изоляции, после чего его нейтрализуют и промывают.

При химическом удалении старой изоляции механические и физические свойства провода не изменяются, в то время как при отжиге образуются оксиды меди, которые при волочении вдавливаются в поверхность провода, нарушают его целостность и изменяют сопротивление. Затем провод рихтуют, проводя через систему роликов, и наматывают на барабан равномерными рядами. В процессе рихтовки отдельные куски провода сваривают встык на стыковочной машине МС-3 без применения присадочного материала. Место сварки отжигают и зачищают до диаметра провода, после чего проводится волочение провода на волочильном станке (рис. 9.1).

Барабан *9* с проводом для волочения закрепляют на станке. В процессе работы станка провод через ролик *8* проходит

ванночку *7* со смазывающей и охлаждающей жидкостью и через направляющий ролик *6* подается в калибр *5*, изготовленный из твердого сплава и являющийся инструментом при волочении. Тянущий барабан *4* протягивает провод через калибр, в результате чего изменяется диаметр провода на меньший. На раскладчике *3* укреплен ролик *2*, который производит раскладку провода на приемный барабан *1*. На качество поверхности провода при волочении большое влияние оказывают инструмент и охлаждающая жидкость. Процесс волочения проводят несколько раз до получения провода требуемого диаметра.

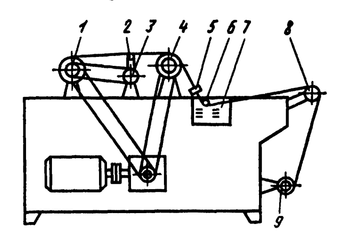


Рис. 9.1. Схема волочильного станка

При волочении происходит наклеп проволоки, изменение ее механических и электрических характеристик. Для восстановления свойства проволоки ее отжигают в печах колокольного типа без доступа воздуха при температуре 480—520°С в течение 2 ч с последующим охлаждением в воде. Благодаря тому что отжиг проводят в безвоздушной среде, поверхность проволоки не окисляется.

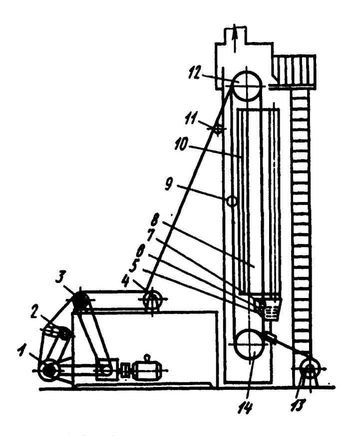


Рис. 9.2. Схема машины для эмалирования провода

Эмалирование провода осуществляется с помощью машины, схематически показанной на рис. 9.2. Проволока сматывается с барабана *13* и через нижний ролик *14* и войлочный сальник *5* поступает в ванночку с лаком *6*, проходит фильеру *7* и через сушильную печь *8* поступает на верхний ролик *12*, с которого возвращается на нижний. Нижний и верхний ролики имеют семь фильер и провод семь раз проходит эмалирование и сушку в печи после каждого покрытия лаком. Печь нагревается элементами *10* типа ТЭН. Успокоитель *9* не позволяет проводу колебаться в печи. С верхнего барабана, после семикратного эмалирования, провод через ролик *11*, барабан *4* и приводной барабан *3* поступает на приемный барабан *1*. Ровную

раскладку провода на приемном барабане осуществляет укладчик *2*. После эмалирования провод подвергается испытаниям.

§ 9.2. Изготовление и укладка обмоток из круглых и прямоугольных проводов

Изготовление и укладка обмоток из круглых проводов. При ремонте изготовление и укладка обмоток осуществляются следующим образом: нарезается и заготавливается изоляция, наматываются катушечные группы (или фазы), изолируются пазы и в них укладываются проводники, распаиваются схемы и выводные концы и формируются лобовые части обмотки.

Листовой материал разрезают ручными или механизированными ножницами, а рулон — дисковыми. Катушечные группы наматывают на автоматизированных станках, предварительно устанавливая программу намотки и размер шаблона. После окончания намотки станок останавливают, щеки шаблона сближают, ослабляя намотку, для облегчения съема катушек. При работе на неавтоматизированных станках используют унифицированные шаблоны, рассчитанные для намотки катушек определенных размеров (рис. 9.3). Шаблоны позволяют наматывать равнокатушечную и концентрическую обмотки и имеют приспособление, позволяющее движением рукоятки ослабить намотку обмотки и свободно снять ее с шаблона.

При ремонте обмотки стараются сохранить все ее параметры — шаг, количество витков в пазу, диаметр провода по меди, геометрическую форму. Для однослойных обмоток это не представляет трудностей. Равнокатушечная и концентрическая обмотки имеют практически одинаковую трудоемкость и одинаково удобны при укладке. В двухслойных обмотках изготовление и укладка равнокатушечной обмотки достаточно просты и несложны для понимания. Обмотки машинной намотки более сложны и трудоемки при ручном изготовлении. Поэтому при ремонте возможно одно-двухслойные концентрические и двухслойные концентрические обмотки заменять на двухслойные равнокатушечные с сохранением диаметра провода и количества проводников в пазу. При этом производят расчет шага равнокатушечной обмотки и изменяют форму катушек.

Шаг равнокатушечной обмотки при пересчете двухслойной концентрической обмотки

$$Y = \frac{Y_{н.б} + Y_{н.м}}{2},$$

где $Y_{н.б}$ и $Y_{н.м}$ — шаг наибольшей и наименьшей катушек двухслойной концентрической обмотки.

Шаг равнокатушечной обмотки при пересчете одно-двухслойной концентрической обмотки будет равен

$$Y = 2(q + 1),$$

где q — число пазов на полюс и фазу.

Конструкция одно-двухслойных концентрических обмоток такова, что укорочение шага в них зависит только от q.

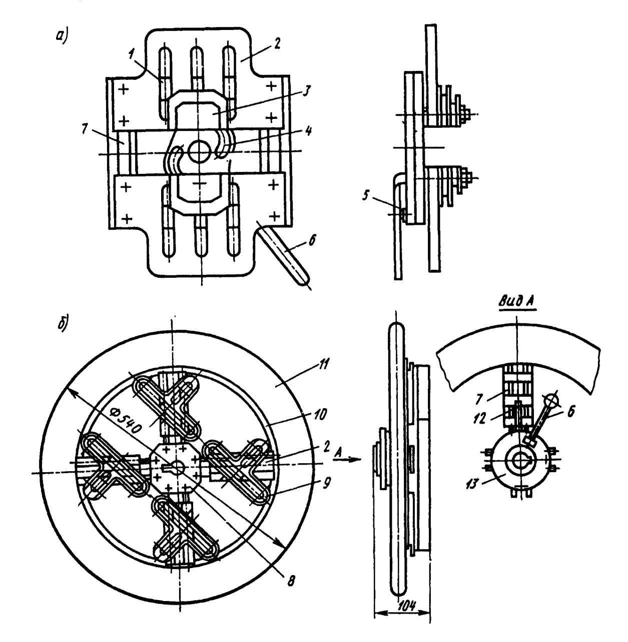


Рис. 9.3. Шаблон для намотки катушек к электродвигателям серии 4А с высотой оси вращения 56—132 мм (*а*) и 132—355 мм (*б*):

1 — рама; *2* — каретка; *3* — сменные головки; *4* — кулачки; *5* — фиксатор; *6* — ручка; *7* — направляющая; *8* — ступица; *9* — коромысло; *10* — кольцо алюминиевое; *11* — кольцо текстолитовое; *12* — рычаг; *13* — диск

Намотанные катушечные группы обмотки передают на рабочее место укладки. Укладку начинают с осмотра сердечника, в пазах которого не должно быть пыли и грязи, а отдельные листы сердечника не должны выступать в паз или распушаться, образуя ровные стенки пазов. В пазы устанавливают пазо-

вую изоляцию, которую подгибают на краях, образовывая манжеты, препятствующие сдвигу ее при последующих операциях.

При укладке однослойных обмоток в пазы закладывают витки обеих сторон катушек. При укладке двухслойных обмоток в пазы закладывают стороны катушек, которые располагаются в низу паза, а вторые стороны, которые должны располагаться в верху паза, оставляют не уложенными, так как в тех пазах, где они должны располагаться, нет еще нижних катушек. Число таких катушек будет равно шагу обмотки. Следующие катушки укладывают одной стороной в верх пазов, а другой вниз. Последними устанавливают верхние стороны первых катушек.

Порядок всыпания витков в пазы показан на рис. 9.4. В изолированный паз устанавливают технологические прокладки *1* и через них заводят проводники. После всыпания определенного количества витков их уплотняют подбойкой *2*. При укладке двухслойных обмоток после заведения нижней катушки устанавливают изоляционную прокладку *3*. После укладки всех проводников их уплотняют, подгибают края изоляции *4*, устанавливают прокладку под клин и с торца забивают клин *5*. Проводники в пазу всегда должны располагаться плотно. Если они размещены свободно (катушки легко сдвинуть рукой), под клин устанавливают дополнительные прокладки. После укладки катушек производят сборку, пайку, изолирование и увязку

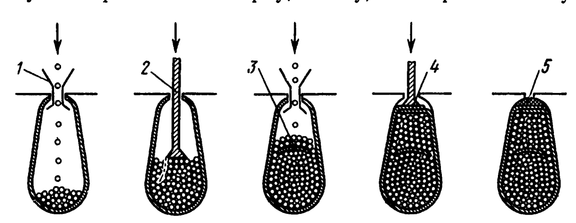


Рис. 9.4. Эскизы паза в процессе всыпания обмотки

схемы и лобовых частей. Перед отправкой на испытания и пропитку лобовым частям придают окончательную форму, для чего их обстукивают молотком через текстолитовую прокладку. Форму и размеры лобовых частей проверяют шаблоном. При всех дальнейших операциях запрещается что-либо делать с обмоткой.

Выбирая провод и изоляцию, всегда следует помнить, что с повышением коэффициента заполнения паза (рекомендуется не превышать его значение более 0,72—0,74) увеличивается трудо-

емкость укладки и снижается надежность машины. Ремонтируя асинхронные электродвигатели первой и второй серии и используя современные провода с более тонкой изоляцией и пазовую изоляцию с меньшей толщиной и, как правило, более высокого качества, при укладке получают очень низкий коэффициент заполнения паза. Необходимо устанавливать дополнительные прокладки. При этом возможно использование проводов большего диаметра. При ремонте четвертой серии асинхронных электродвигателей или серии АИ часто используют более толстую изоляцию, чем установлена в машинах. Поэтому трудоемкость ремонта машин последних серий более высокая и требует высокой квалификации рабочих.

Изготовление и укладка обмоток из прямоугольного провода. Низковольтные катушечные обмотки статоров из прямоугольного провода повторному использованию не подлежат, так как восстановить междувитковую изоляцию эмалевого провода не представляется возможным. Катушки для укладки в машину получают с заводов-изготовителей как запасные части или изготовляют на ремонтном предприятии по технологии предприятий-изготовителей, включающей: намотку лодочки, скрепление витков лентами и лаками, опрессование пазовой части, растяжку лодочки в катушку, формование лобовых частей, изолирование выводных концов и лобовых частей.

Обмотки якорей из прямоугольного провода с эмалевой изоляцией также не могут быть использованы повторно. Если обмотка якоря имеет витковую изоляцию в виде пленок толщиной 0,02—0,04 мм, то при ремонте ее можно восстановить. Для этого катушки извлекают из пазов, стараясь сохранить их форму, и снимают с них корпусную и витковую изоляцию, срезая ее ножом. Затем катушки рихтуют, придавая им первоначальную форму, и накладывают витковую изоляцию, обматывая пленками в полнахлеста каждый проводник. Проводники собирают в катушку и наматывают корпусную изоляцию. Дальнейшее изготовление катушки зависит от типа изоляции и соответствует технологии изготовления катушек на производстве.

Высоковольтные катушки используют повторно. Для этого снимают старую корпусную и витковую изоляцию, наносят изоляцию вновь и укладывают катушки в статор. Удаление корпусной изоляции производят на станках (рис. 9.5). Катушку *5* устанавливают в рабочую зону дискового ножа *2*. Сменные диски *3* позволяют установить щеки *4* на расстоянии, необходимом для удержания катушки в зоне резания. Педалью *7* и тягой *1* создают необходимое давление при резании. Ведущий нижний вал *6* обеспечивает перемещение катушки.

После разрезания корпусной изоляции ее снимают, витки катушки раздвигают гармошкой и ножом снимают витковую

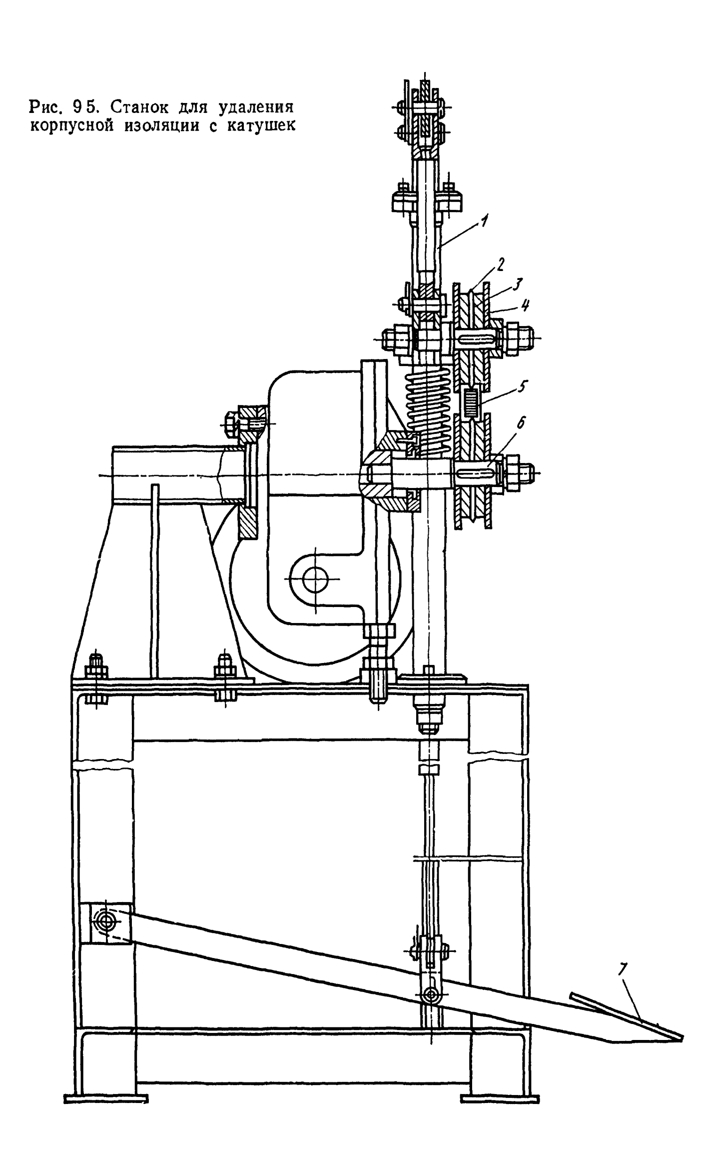


Рис. 95. Станок для удаления корпусной изоляции с катушек

изоляцию. При этом не допускают изменения формы витка. Затем на провод наматывают в полнахлеста витковую изоляцию из пленки толщиной 0,02—0,04 мм. Витки катушки сдвигают вместе и наматывают корпусную изоляцию. Тип изоляции (термопластичная или термореактивная) и количество витков определяются конструктором. Дальнейшее восстановление обмотки осуществляется так же, как при ее изготовлении и укладке на заводах-изготовителях машин.

Ремонт стержневых обмоток роторов и обмоток полюсов. Извлеченные из пазов стержни поступают на восстановление изоляции. Старую изоляцию снимают ножом в холодном или нагретом состоянии и отжигают места, где изгибался стержень для снятия наклепа. Отжиг производят в печи или газовой горелкой, нагревая стержень до 400 °С и охлаждая его в воде.

Дальнейший ход работ следующий: стержни выправляют и рихтуют, выгоревшие места напаивают твердым припоем и зачищают под размер стержня, удаляют заусенцы, зачищают концы металлической щеткой и облуживают. Затем стержни передают на изолировку и опрессовку.

Пазовые части изолируют простынками, покрытыми клеем, обкатывают на обкаточных механизмах и опрессовывают на прессах. Лобовые части изолируют лентами и передают на укладку.

Технология укладки при ремонте не отличается от технологии укладки при изготовлении машины и поэтому здесь не рассматривается.

Обмотки полюсов выполняют из круглого, прямоугольного проводов или сборными. Обмотки из прямоугольного провода могут быть намотаны плашмя или на ребро. Катушки из круглого провода не ремонтируют, а изготовляют вновь по технологии, принятой на электромашиностроительных заводах. Катушки, намотанные из шинки плашмя, разматывают, очищают от старой изоляции, отжигают, травят и промывают в горячей воде. Намотку производят на шаблон. Витковую изоляцию из электрокартона, асбестовой ленты или миканита устанавливают в процессе намотки.

Катушки из шинной меди, намотанные на ребро, при ремонте растягивают гармошкой, очищают от старой изоляции, покрывают лаком и просушивают их в растянутом состоянии, прокладывая между витками асбестовую бумагу. Затем катушку складывают, обрезают изоляцию по размеру внутреннего и наружного контура катушки, заводят внутрь оправку и опрессовывают на прессе или стяжными шпильками при давлении 3—4 МПа. Не снижая давления, катушку нагревают до 180 °С и выдерживают в течение 1—2 ч. Опрессованную катушку сушат, пропитывают в лаке или компаундовой массе и накладывают изоляцию.

§ 9.3. Пропитка обмоток статоров и роторов

Статоры, роторы и катушки аппаратов подвергают пропитке, которая цементирует витки обмоток, снижает механический износ изоляции, замедляет процессы теплового старения и увлажнения электроизоляционных материалов, так как она уменьшает площадь их соприкосновения с окружающей средой. При этом повышается электрическая прочность изоляции вследствие заполнения пор и капилляров обмотки лаками, имеющими более высокую электрическую прочность, чем воздух. Пропитка снижает превышение температуры обмоток, так как теплопроводность лаков намного выше теплопроводности воздуха.

При ремонте возможности выбора изоляции и лака ограничены и наиболее часто для пропитки обмоток из эмалированных проводов используют лаки марок МЛ-92, МГМ-8, КО-916к, КО-964Н, компаунды (составы без растворителей) КП-34, КП-103. Провода с волокнистой изоляцией допускают более широкий выбор пропиточного состава. Для них не представляет опасность высокая цементирующая способность пропиточного лака. Обмотки вращающихся частей при использовании проводов с волокнистой изоляцией пропитывают в компаундах, которые обеспечивают высокую цементацию, например, типов КП, Б-ИД-9127.

Растворители лаков (ксилол, толуол) при сушке должны испариться и выделиться из обмоток в виде летучих веществ, которые необходимо нейтрализовать или рассеять в атмосфере. Составы без растворителей при отверждении не выделяют вредных летучих, поэтому оборудование для пропитки и сушки можно располагать в общем помещении.

В промышленности используют несколько способов пропитки и сушки. При ремонте на небольших участках используют способ погружения изделия в лак. Этот способ является гибким технологическим процессом, позволяющим на одном оборудовании пропитывать изделия различных размеров и конструкций. Однако процесс является некомфортным с большой долей ручного труда. Обычно при пропитке используют маловязкие лаки с вязкостью 40—45 с (по вискозиметру ВЗ-4 при температуре лака 20 °С) и содержанием пленкообразующих веществ 51—58%. Чтобы внести в обмотку необходимое количество лака, выполняют несколько пропиток, после каждой из которых узел сушат в течение 8—17 ч.

Время нахождения изделия в лаке при первой пропитке составляет от 20 мин до 1 ч, а при следующих — от 10 до 20 мин. Заполнение пор и пустот в изоляции обмоток происходит в основном при первой пропитке, а последующие пропитки фактически являются покровными.

Способ пропитки изделия лаком в вакууме с переходом к

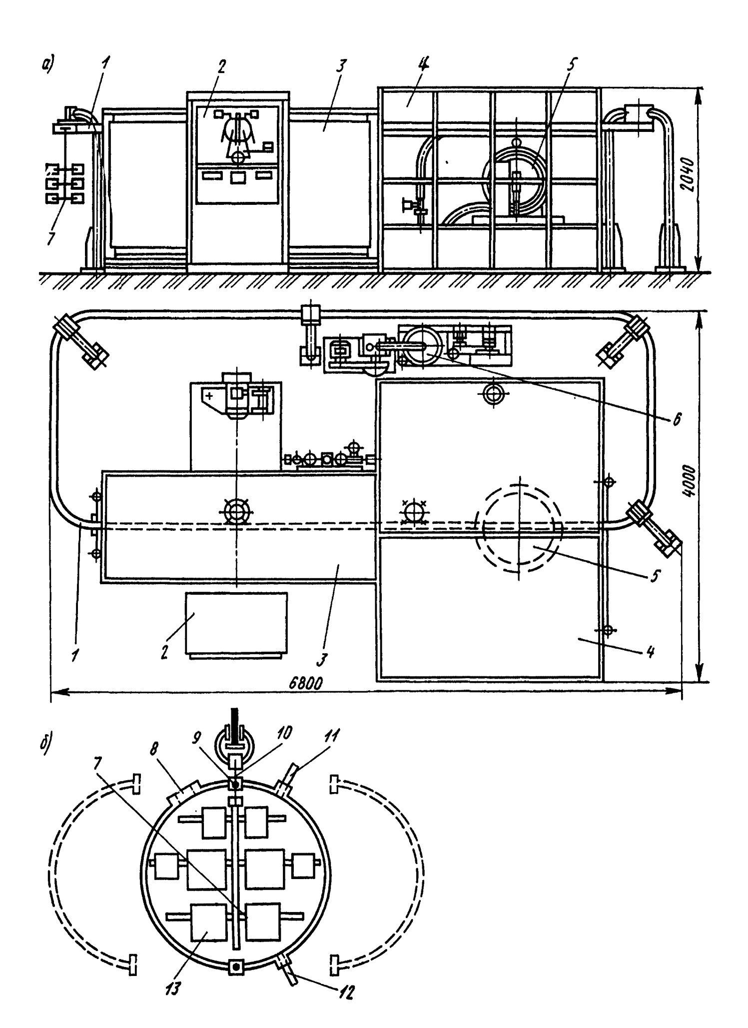


Рис. 9.6. Полуавтоматическая установка типа АВБ-4 для пропитки под вакуумом и давлением (*а*) и схема (*б*) автоклава и подвески

повышенному давлению является менее гибким, чем способ погружения, но он позволяет получить более высокое качество пропитки с меньшей трудоемкостью и используется на специализированных предприятиях. Фирма Хитека (ВНР) выпускает ряд пропиточных установок для изделий различных габаритов. Установка типа АВБ-4 (рис. 9.6, *а*) работает следующим образом. Пропитываемые изделия на подвеске *7* по конвейеру *1* транспортируют в печь *3* для сушки. После сушки изделия поступают в автоклав *5*, в котором пропитываются лаком в автоматическом цикле, после чего возвращаются в печь *3* для сушки и запечки лака. Зона автоклава защищена выгородкой *4*. В состав установки входят насосы *6* для создания вакуума и давления и электрошкаф *2*.

Автоклав представляет собой шаровой сосуд, состоящий из двух частей (рис. 9.6, *б*). Половины автоклава разводятся и подвеску *7* с навешенными на нее изделиями *13* вводят в зону автоклава. После смыкания автоклава резиновые уплотнения *9* обеспечивают его герметичность. Подвеска висит на металлической пластине *10*, имеющей ширину 30—40 мм и толщину 0,5—0,3 мм. Вакуум и давление создаются через штуцер *11*, а лак подают через штуцер *12*. Смотровое окно *8* позволяет контролировать наличие лака.

В табл. 9.1 приведена циклограмма пропитки изделия лаком с указанием времени операций.

Таблица 9.1

Операция	Время, мин							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Закрытие автоклава	X	—	—	—	—	—	—	—
Вакуумирование до $2{,}7\cdot10^3$ Па	X	X	X	—	—	—	—	—
Снижение вакуума до $(13\div40)\times10^3$ Па	—	—	X	—	—	—	—	—
Заполнение автоклава лаком	—	—	X	—	—	—	—	—
Повышение давления до $(200\div300)\times10^3$ Па	—	—	—	X	X	—	—	—
Снижение давления до атмосферного и слив лака	—	—	—	—	X	X	—	—
Вакуумирование до $(5{,}0\div13)\times10^3$ Па	—	—	—	—	—	X	X	—
Увеличение давления до атмосферного	—	—	—	—	—	—	—	X
Раскрытие автоклава	—	—	—	—	—	—	—	X

Цикл пропитки в зависимости от типа изделий можно изменять в пределах 6—16 мин.

Отсутствие воздуха в изделии способствует глубокому проникновению лака в обмотку. Этот процесс усиливается при создании повышенного давления после заполнения автоклава

лаком. При таком способе пропитки можно использовать лаки с вязкостью 55—100 с. После пропитки создание вакуума приводит к испарению более половины летучих веществ и повышению вязкости лака. При этом лак становится настолько вязким, что практически не вытекает из обмотки после пропитки и во время сушки.

Использование более вязкого лака, чем при пропитке погружением, и повышение его вязкости сразу после пропитки позволяют за одну пропитку внести в обмотку примерно столько же лака, сколько вносится при двукратной пропитке погружением. Использование более вязкого лака требует меньше времени для сушки. Время пропитки и сушки сокращается в 4—6 раз по сравнению со способом погружения. Особенно эффективен рассматриваемый способ для многовитковых катушек из тонкого провода (обмотки электрических машин небольшой мощности, катушки аппаратов, реле и т. п.).

Контрольные вопросы

1. Как производится восстановление изоляции круглого провода?
2. Как пересчитать шаг концентрической обмотки на равнокатушечную?
3. Как восстанавливают изоляцию катушек, используемых повторно?
4. Какие преимущества имеет пропитка под вакуумом и давлением?
5. Почему не используются при ремонте механизированные способы укладки обмоток из круглого провода?

ГЛАВА 10
СБОРКА И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСЛЕ РЕМОНТА

Сборка является заключительным технологическим процессом, от качества исполнения которого в значительной мере зависят энергетические и эксплуатационные показатели машин — КПД, уровень вибраций и шума, надежность и долговечность. Сборку необходимо производить используя детали и сборочные единицы, принадлежащие данной машине, так как обезличенная сборка более сложна в организационном отношении и при ней возможны случаи, когда характеристики машины не будут соответствовать требованиям стандартов. На качество сборки влияют правильная организация рабочего места и использование исправного инструмента. Собранная машина подвергается обкатке и испытаниям.

§ 10.1. Балансировка роторов и якорей

Перед сборкой производят балансировку роторов (якорей) и других вращающихся деталей, если они ремонтировались или при предремонтных испытаниях была обнаружена повышенная вибрация. Согласно ГОСТ 12327—79 компенсация неуравновешенности должна производиться в двух плоскостях исправления при отношении осевого размера L детали к диаметру D

больше 0,2; при $L/D<0,2$ — в одной плоскости. Детали, устанавливаемые на отбалансированный ротор, балансируются отдельно. Если деталь устанавливают на ротор (якорь) с помощью шпонки, то она балансируется со шпонкой, а ротор — без шпонки.

При одной плоскости исправления ротор (якорь) можно балансировать как статическим, так и динамическим способами, а при двух плоскостях — только динамическим.

Статическая балансировка. Ротор балансируют на призмах (рис. 10.1). Отклонение плоскости призм от горизонтальной

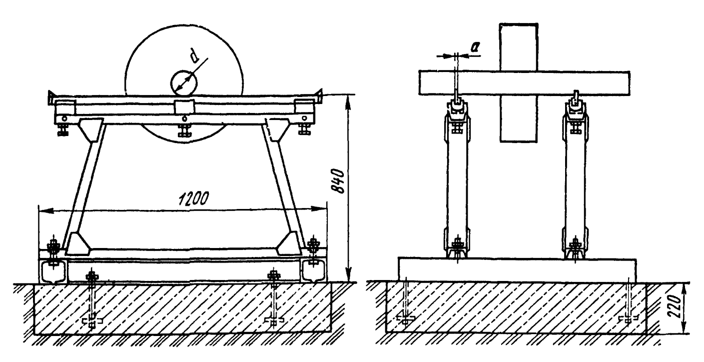


Рис. 10.1. Параллельные призмы для статической балансировки деталей

плоскости не должно превышать 0,1 мм на 1 м длины призмы. Шероховатость поверхности призм должна быть не хуже $R_a=0,50$, а ширина не более $a=M/2d$, где a — ширина призмы, мм; M — масса ротора (якоря), кг; d — диаметр шейки вала, расположенной на призме, мм.

Ротор (якорь) устанавливают на призмы и легким толчком выводят из равновесия, предоставляя ему возможность катиться по призмам. После нескольких качаний несбалансированный ротор (якорь) остановится. В верхней точке ротора устанавливают пробный груз и повторяют опыт. Так поступают несколько раз и подбирают груз. Ротор считается отбалансированным, если он останавливается без качаний в состоянии безразличного равновесия. Пробный груз взвешивают и на его место устанавливают штатный груз, равный по массе пробному.

Если балансируемые детали не имеют вала, то изготовляют технологический вал, на котором производят балансировку.

Динамическая балансировка. Ротор балансируют на станке при его вращении. Современные балансировочные станки поз-

воляют определить место установки и массу груза. Их использование при ремонте весьма желательно, но при большой номенклатуре ремонтируемых машин частная переналадка снижает эффективность станков и их применение не всегда является обоснованным. Использование универсального балансировочного станка позволяет решить эту задачу (рис. 10.2).

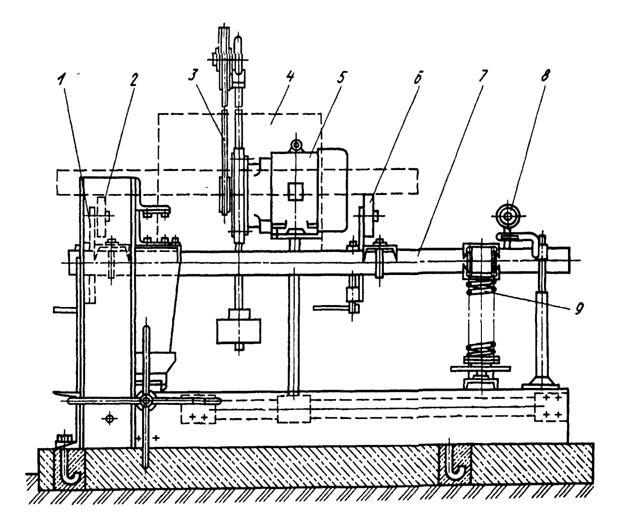


Рис. 10.2. Универсальный балансировочный станок

Балансируемый ротор *4* устанавливают на четыре круглые опоры *2* и *6*. Опоры расположены на раме *7*, состоящей из двух круглых балок. Двигателем *5* через ремень *3* ротор приводится во вращение. Левая сторона рамы крепится к основанию плоской пружиной *1* и при вращении ротора остается неподвижной, а правая сторона опирается на пружины *9* и при вращении ротора начинает колебаться под действием неуравновешенных масс правой стороны ротора.

Величину колебаний показывает стрелочный индикатор *8*. После определения величины колебаний останавливают ротор и навешивают пробный груз (пластилин) на правую сторону ротора. Если при очередном вращении величина колебаний увеличивается, то это означает, что пробный груз установлен неверно. Передвигая груз по окружности, находят место, где его расположение вызывает наименьшие колебания. Затем начи-

нают изменять массу пробного груза, добиваясь минимума колебаний. Отбалансировав правую часть, снимают пробный и устанавливают постоянный груз. Затем ротор поворачивают и балансируют вторую сторону.

§ 10.2. Сборка и испытания электрических машин после ремонта

Сборка электрических машин. Перед началом сборки со склада доставляют исправные детали и узлы, а из механического и изоляционнообмоточного участков — отремонтированные. По навешенным биркам определяют принадлежность каждой детали и узла собираемым двигателям и комплектуют их. Возможен обезличенный ремонт, когда взаимозаменяемые детали и узлы однотипных двигателей устанавливают произвольно. К ним относятся подшипниковые щиты, роторы, статоры и т. д. При этом, вследствие того что эти детали и узлы уже эксплуатировались, возможны случаи, когда собранная машина будет иметь характеристики, не соответствующие стандартам. Поэтому следует по возможности такой тип ремонта не использовать.

Сборка машин производится в порядке, обратном разборке. Используется практически тот же инструмент. Следует обращать внимание на правильность выполнения работ по сборке подшипников, вентиляторов, различных втулок. Подшипники устанавливают в нагретом состоянии, воздействуя на внутреннюю обойму (при его установке на вал по посадке с натягом) инструментом, имеющим вставки из мягкого материала. При установке вентиляторов усилия прилагают к стальным втулкам, а не к алюминиевым частям. При установке ротора (якоря) в статор (индуктор) следует быть внимательным и не допускать касания или задевания ротора об обмотку или сердечник. Подшипниковые щиты следует устанавливать без перекосов, завертывание болтов осуществлять поочередно, делая первоначально по 2—3 оборота, а далее — по доле оборота. Для сборки внутренней подшипниковой крышки в нее до надевания щита вворачивают длинную технологическую шпильку, которую пропускают в одно из отверстий в щите и после его установки за нее подтягивают крышку к щиту и устанавливают 1—2 болта. После этого шпильку можно вывернуть и завернуть болт. Делая внутренние болтовые соединения, не следует использовать пружинные контрящие шайбы. Контровку болтов и гаек следует производить более надежными способами.

При сборке машин постоянного тока полюсы располагают в том же порядке, что и до ремонта (установка производится по меткам). Щетки не должны свисать с коллектора или плотно прилегать к петушкам.

После сборки машины проверяют легкость вращения вала

от руки или при помощи рычага и отправляют машину на испытания.

Испытания электрических машин после ремонта. После ремонта производятся обкатка машин и приемо-сдаточные испытания по нормам, приведенным в ПТЭ. Общие методы испытаний электрических машин изложены в ГОСТ 11828—75. Заключение о пригодности к эксплуатации дается не только на основании сравнения результатов испытания с нормами, но и по совокупности результатов всех проведенных испытаний и осмотров. Значения полученных при испытаниях параметров должны быть сопоставлены с исходными, а также с результатами предыдущих испытаний электрической машины.

Под исходными значениями понимаются значения, указанные в паспорте машины, в протоколах испытаний завода-изготовителя, в стандартах и технических условиях. При отсутствии таких значений в качестве исходных могут быть приняты значения параметров, полученные при приемо-сдаточных испытаниях или испытаниях по окончании восстановительного ремонта электрической машины.

По изложенной ниже программе испытываются и электрические машины производства иностранных фирм после истечения гарантийного срока эксплуатации.

Программой испытаний двигателей переменного тока после капитального ремонта предусмотрены следующие операции:

испытание стали статора двигателей с обмотками из прямоугольного провода (удельные потери — не более 5 Вт/кг, наибольший перегрев зубцов при $B_z = 1$ Тл не должен превышать 45 °С, наибольшая разность перегрева различных зубцов при той же индукции — не более 30 °С);

измерение сопротивления изоляции обмоток статора, ротора, термоиндикаторов с соединенными проводами (если они имеются в данной машине) и подшипников;

испытание обмоток статора и ротора при собранном двигателе повышенным напряжением промышленной частоты дли-

Таблица 10.1

Испытуемый элемент двигателя переменного тока с U<0,66 кВ	Испытательное напряжение, кВ, при мощности двигателя, кВт	
	0,2—10	10,1—1000
Обмотки после укладки в пазы до пайки межкатушечных соединений	2,5	3,0
Обмотки после пайки и изолировки межкатушечных соединений	2,3	2,7
Обмотки после пропитки и запрессовки обмотанного сердечника	2,2	2,5
Главная изоляция обмотки собранного двигателя переменного тока	$2U_н + 1{,}0$, но не менее 1,5	

Таблица 10.2

Испытуемый элемент обмоток статора из прямоугольного провода двигателей переменного тока	Испытательное напряжение, кВ, для электродвигателей на номинальное напряжение, кВ							
	Мощность до 1000 кВт					Мощностью свыше 1000 кВт		
	до 0,66	2	3	6	10	3	6	10
Отдельная катушка (стержень) перед укладкой	4,5	11	13,5	21,1	31,5	13,5	23,4	34
Обмотка после укладки в пазы до пайки межкатушечных соединений	3,5	9,0	11,5	18,5	29	11,5	20,5	30
Обмотки после пайки и изолировки соединений	3,0	6,5	9,0	15,8	25	9	18,5	27
Главная изоляция обмотки собранной машины	$2U_н+1$ (но не менее 1,5 кВ)	5,0	7,0	13,0	21	7	15,0	23

Таблица 10.3

Испытуемый элемент ротора асинхронных двигателей	Испытательное напряжение, кВ
1. Полная замена обмотки	
Отдельные стержни до укладки в пазы	$2U^*_{рот}+3,0$
Стержни после укладки в пазы до соединения	$2U_{рот}+2,0$
Обмотка после соединения, пайки и бандажировки	$2U_{рот}+1,0$
Контактные кольца до соединения с обмоткой	$2U_{рот}+2,2$
2. Частичная замена обмотки	
Оставшаяся часть обмотки после выемки заменяемых катушек, секций или стержней	$2U_{рот}$ (но не менее 1,2 кВ)
Вся обмотка после присоединения новых катушек, секций или стержней	$1,7U_{рот}$ (но не менее 1 кВ)

* Под $U_{рот}$ понимается напряжение на кольцах неподвижного ротора с разомкнутой обмоткой при номинальном напряжении на статоре.

тельностью 1 мин. Значения испытательных напряжений обмоток в процессе их изготовления и после сборки машины приведены в табл. 10.1—10.3. Результаты испытаний считаются положительными, если не наблюдалось скользящих разрядов, толчков тока утечки или нарастания его установившегося значения, пробоев или перекрытий и если сопротивление изоляции,

измеренное мегаомметром после испытаний, осталось прежним;

измерение сопротивления обмоток статора и ротора (проводится для двигателей мощностью 300 кВт и более или для двигателей с $U_н > 3$ кВ), реостатов и пускорегулирующих резисторов постоянному току. Отклонения сопротивления обмоток от паспортных и по фазам — не более ±2%, для реостатов — не более ±10%;

испытание витковой изоляции обмоток из прямоугольного провода импульсным напряжением высокой частоты в течение 5—10 с. Значения испытательных напряжений приведены в табл. 10.4;

Таблица 10.4

Тип изоляции витков	Амплитуда напряжения, В	
	до укладки секций в пазы	после укладки и бандажировки
Провод ПБО	210	180
Провода ПБД, ПДА, ПСД	420	360
Провод ПБД с однослойной изоляцией из бумажной ленты вполнахлеста	700	600
Провода БПД и ПДА с изоляцией слоем микаленты через виток	700	600
То же, с прокладками миканита в пазовой части между витками	1000	850
Провод с однослойной изоляцией микалентой толщиной 0,13 мм вполнахлеста	1100	950
Провод ПБД с однослойной изоляцией шелковой лакотканью толщиной 0,1 мм вполнахлеста	1400	1200
Провода ПБД и ПДА с однослойной изоляцией микалентой толщиной 0,13 мм вполнахлеста или 1/3 нахлеста	1400	1200
Провод ПБД или ПДА с однослойной изоляцией микалентой толщиной 0,13 мм вполнахлеста и сверху слоем хлопчатобумажной ленты впритык	2100	1800
Провод ПДА, изолированный двумя слоями микаленты толщиной 0,13 мм вполнахлеста	2800	2400

измерение воздушного зазора (если позволяет конструкция) в четырех сдвинутых на 90° точках (измеренные зазоры не должны отличаться от среднего более чем на 10%) и зазоров в подшипниках скольжения (допустимые значения зазоров приведены в табл. 10.5). Если зазор больше допустимого, необходимо перезаливать вкладыш подшипника;

проверка работы двигателя на холостом ходу (для двигателей мощностью 100 кВт и более, напряжением 3 кВ и выше). Ток холостого хода не должен отличаться более чем на 10% от указанного в каталоге. Продолжительность испытания — 1 ч;

измерение вибрации подшипников (для двигателей напряжением 3 кВ и выше и двигателей ответственных механизмов). Максимально допустимые амплитуды вибраций равны 50; 100; 130 и 160 мкм для двигателей с частотами вращения соответственно 3000; 1500; 1000 и 750 об/мин и менее;

Таблица 10.5

Номинальный диаметр вала, мм	Зазор, мкм, при частоте вращения, об/мин		
	до 1000	1000—1500	более 1500
От 18 до 30	40—93	60—130	140—280
31—50	50—112	75—160	170—340
51—80	65—135	95—195	200—400
81—120	80—160	120—235	230—460
121—180	100—195	150—285	260—530
181—260	120—225	180—300	300—600
261—360	140—250	210—380	340—680
361—600	170—305	250—440	380—760

измерение разбега ротора в осевом направлении (для двигателей с подшипниками скольжения, двигателей ответственных механизмов и при выемке ротора при ремонте). Допустимый разбег — не более 4 мм;

проверка работы двигателя (напряжением свыше 1 кВ или мощностью 300 кВт и более) под нагрузкой. Величина нагрузки — не менее 50% номинальной;

испытание воздухоохладителя в течение 5—10 мин при избыточном давлении 0,2—0,25 МПа;

проверка исправности стержней короткозамкнутых обмоток роторов электродвигателей мощностью 100 кВт и более (все стержни должны быть целыми) и срабатывания защиты машин напряжением до 1000 В при питании от сети с заземленной нейтралью (проводится у машин с $U_н > 42$ В, работающих в опасных и особо опасных условиях, а также у машин с $U_н > 380$ В).

Программой испытаний машин постоянного тока после капитального ремонта предусмотрены следующие операции: измерение сопротивления изоляции обмоток и бандажей; испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты длительностью 1 мин, величины испытательных напряжений приведены в табл. 10.6. Эти испытания не производятся для машин мощностью до 200 кВт на напряжение до 440 В; измерение сопротивления обмоток, реостатов и пускорегулирующих резисторов постоянному току в практически холодном состоянии. Значения сопротивлений обмоток возбуждения не должны отличаться от заводских значений более чем на ±2%, обмотки якоря — ±10%. В цепях реостатов и пускорегулирующих резисто-

Таблица 10.6

Испытуемый элемент	Испытательное напряжение, кВ
Обмотки машин постоянного тока:	
на номинальное напряжение до 100 В и мощностью более 3 кВт	$1,6U_н+0,8$
на номинальное напряжение более 100 В и мощностью до 1000 кВт	$1,6U_н+0,8$ (но не менее 1,2)
на номинальное напряжение более 100 В и мощностью более 1000 кВт	$1,6U_н+0,8$
Обмотки возбудителей (мощностью более 3 кВт) синхронных генераторов	$8U_н$ (но не менее 1,2 и не более 2,8)
Обмотки возбудителей (мощностью более 3 кВт) синхронных двигателей и компенсаторов	$8U_н$ (но не менее 1,2)
Проволочные бандажи якоря машин мощностью более 3 кВт	1,0
Реостаты и пускорегулирующие резисторы (допускается испытание совместно с изоляцией цепей возбуждения)	1,0

ров не должно быть обрыва цепей; снятие характеристик холостого хода и испытание витковой изоляции. Характеристика холостого хода снимается только у генераторов; максимальное напряжение — до 1,3 номинального; отклонение характеристики от заводской — не нормируется. Продолжительность испытания витковой изоляции — 5 мин, при этом испытании среднее напряжение между соседними коллекторными пластинами не должно превышать 24 В, если $2p>4$.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях производят балансировку роторов (якорей)?
2. Какие недостатки имеет обезличенная сборка?
3. Как производят сборку подшипников?
4. На основании чего дается заключение о пригодности машины к эксплуатации?
5. Назовите виды испытаний машин переменного тока. Зачем они проводятся?

ГЛАВА 11

КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРОВ БЕЗ РАЗБОРКИ АКТИВНОЙ ЧАСТИ

Технология выполнения ремонтных работ рассмотрена применительно к специализированным ремонтным предприятиям. Любой ремонт трансформатора, связанный с вскрытием бака, является капитальным. В данной главе рассмотрены последовательность и объем ремонта без разборки активной части трансформатора, в том числе ремонт обмоток, переключающих устройств, магнитной системы, а также подготовка трансформаторного масла и порядок его заливки в бак.

§ 11.1. Классификация ремонтов трансформаторов

По объему ремонтных работ различают: текущий (эксплуатационный) ремонт, капитальный без замены обмоток, капитальный с заменой обмоток, но без ремонта магнитной системы, капитальный с заменой обмоток и частичным или полным ремонтом магнитной системы. Любой ремонт, связанный с вскрытием бака, является капитальным, включая и ремонт по типовой номенклатуре, называемый ревизией (см. табл. 3.3). При этом ремонте активную часть трансформатора вынимают из бака (или поднимают съемную часть бака) и без разборки активной части (расшихтовка магнитопровода и съем обмоток) производят ее ревизию. Выполняют также целый ряд других обязательных работ, в которые входят обработка масла, замена сорбентов, уплотнений, в некоторых случаях — сушка активной части, контрольные испытания.

По назначению ремонты могут быть планово-предупредительные (профилактические) и послеаварийные, как и при ремонте электрических машин. Периодичность их проведения зависит от результатов профилактических испытаний и наличия дефектов, выявленных в процессе эксплуатации и при внешнем осмотре трансформатора (см. § 3.4).

Кроме того, в [6] предусматривается вскрывать главные трансформаторы электростанций и подстанций, через которые передается основная часть вырабатываемой электроэнергии, и трансформаторы собственных нужд подстанций через восемь лет после включения в эксплуатацию (независимо от сроков и объемов ремонтов, приведенных в табл. 3.3). Вскрываются и осматриваются трансформаторы также после длительной транспортировки к месту установки.

Капитальные ремонты, входящие в объем планово-предупредительных, выполняются за сравнительно непродолжительное время.

Сроки выполнения послеаварийного ремонта определяются рядом обстоятельств: возможностью замены трансформатора, наличием резерва, категорией потребителей, которых трансформатор снабжает электроэнергией, и т. п. Выполнение капитального ремонта с заменой обмоток и изоляции, переизолировкой электротехнической стали требует значительных материальных, трудовых затрат и времени.

По характеру выполняемых работ выделяют следующие основные виды ремонтов: восстановительный, реконструкция и модернизация. При восстановительном ремонте параметры трансформатора и конструкция узлов и деталей не изменяются. При реконструкции параметры трансформатора сохраняются, а конструкция ряда узлов изменяется. В процессе модер-

низации изменяют параметры трансформатора и, как правило, отдельные части конструкции.

Большое значение при проведении плановых капитальных ремонтов придается условиям вскрытия активной части (см. § 2.3). В этом случае срок ремонта невелик и, если изоляция трансформатора не увлажнена, сушка активной части в объем ремонта не входит.

В настоящее время для исключения увлажнения изоляции при разгерметизации и сливе масла используется технология, позволяющая удлинить время нахождения активной части вне масла до 100 ч. Технология заключается в подаче в бак трансформатора осушенного воздуха с относительной влажностью не выше 20%. Для получения сухого воздуха используют специальную установку, снабженную цеолитовыми[1] адсорберами и подогревателем воздуха. Установка может быть использована также и для подсушки изоляции.

Силовые трансформаторы в зависимости от мощности и класса напряжения разделяются на группы (габариты) от I до VIII. Каждая группа включает трансформаторы, достаточно близкие по массогабаритным показателям.

При капитальном ремонте трансформаторов мощностью более 32 мВ·А и классов напряжения свыше 110 кВ (IV—VIII габаритов) затраты, связанные с транспортировкой, могут намного превосходить стоимость ремонта. Только конкретное технико-экономическое обоснование позволяет решить вопрос о методе ремонта в каждом случае.

Однако чаще всего крупные трансформаторы ремонтируются непосредственно на подстанциях, имеющих башни с грузоподъемными устройствами, а на электрических станциях — в машинных залах, оборудованных мостовым краном нужной грузоподъемности. Ремонт выполняется специализированным ремонтным предприятием, персонал которого выезжает к месту установки трансформатора. Однако такие работы, как перемотка и изготовление обмоток, ремонт главной изоляции, переизолировка пластин магнитной системы и целый ряд других, проводятся в специализированных мастерских. Трансформаторы большой мощности ремонтируются только по специальной для каждого трансформатора технологии, которая в настоящей книге не рассматривается.

Капитальные ремонты трансформаторов I—III (мощностью соответственно до 100, 100—1000 и 1000—6300 кВ·А и классов напряжения до 35 кВ) и частично IV (свыше 6300 кВ·А, до

[1] Цеолиты — группа минералов, получаемых в основном синтетическим методом. Они обладают исключительно высокими адсорбционными свойствами, обусловленными высокой пористостью кристаллов и определенными размерами входных окон и каналов, которые действуют как сита, просеивающие молекулы, входящие в состав очищаемого вещества.

35 кВ) габаритов производятся, как правило, на специализированных ремонтных предприятиях. Хотя в большинстве случаев используется индивидуальный метод ремонта, современные ремонтные предприятия организуют его выполнение в условиях, максимально приближенных к заводским по уровню организации и используемому оборудованию.

§ 11.2 Подготовка к капитальному ремонту трансформатора

Предварительно проводят ряд организационно-технических мероприятий, которые обеспечивают четкое выполнение ремонтных работ в кратчайшие сроки и включают составление документации, подготовку помещения, грузоподъемных механизмов, оборудования и материалов, проведение необходимых испытаний и т. д. Кроме того, составляют ведомость объема работ, содержащую перечень и объем ремонтных работ и являющуюся исходным документом для определения трудозатрат, срока ремонта, необходимых материалов и т. д.

Помещение, в котором будет производиться ремонт, должно быть защищено от пыли и атмосферных осадков и оборудовано подъемными механизмами, электрощитом с подводкой электроэнергии, вентиляцией и отвечать противопожарным и санитарным требованиям. В этом помещении должны размещаться бак трансформатора, его активная часть, стеллажи для демонтированных частей и деталей, слесарный верстак, маслоочистительная аппаратура, материалы, приспособления, леса, лестницы и др.

В ряде случаев приходится выполнять ремонт во временно сооружаемых помещениях, а в исключительных ситуациях — даже вне помещений под порталом, с применением автокранов, электрических лебедок и других грузоподъемных устройств.

Для обеспечения безопасности работ подъемные механизмы к началу ремонта должны быть смонтированы и проверены. Грузоподъемность подъемных механизмов, стропов, тросов выбирают соответственно массе трансформатора, указанной на его шитке и в техническом паспорте.

При выемке из бака *1* активной части *2* трансформатора подъемные механизмы подвешивают на такую высоту, при которой расстояние *Г* от крюка до основания трансформатора (рис. 11.1, *а)* не меньше суммы расстояний *А*+*Д*+*Б*+*В*. Размеры *А* и *Б* определяют по каталогу или чертежу трансформатора, размер *Д* принимают равным 100—150 мм; размер *В* соответствует выбранной расчетом длине стропов *3*. Аналогичный эскиз составляют при поднятии съемной части *4* бака (рис. 11.1, *б)*.

Значительный объем подготовительных работ занимает подготовка масла. Масло и маслоочистительную аппаратуру доставляют ближе к ремонтной площадке, прокладывают маслопроводы, подготавливают емкости для слива старого масла, устанавливают и подключают маслоочистительную аппаратуру.

Должны быть проверены и приведены в порядок пути для перекатки трансформатора в помещение, где будет производиться ремонт. После установки трансформатора для ремонта (до вскрытия бака) измеряют изоляционные характеристики (для решения вопроса о сушке) и испытывают масло из бака на электрическую прочность.

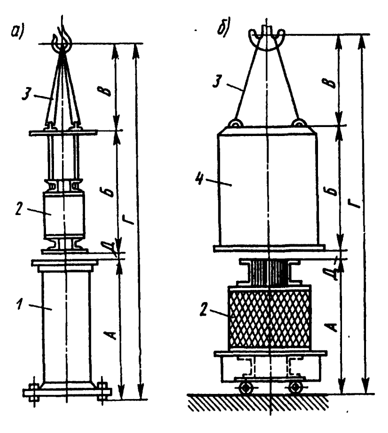


Рис. 11.1. Эскизы трансформатора с поднятыми магнитопроводом и обмоткой (*а*) и съемной частью бака (*б*)

Проводится тщательный внешний осмотр, составляется опись внешних дефектов, подлежащих устранению при ремонте (течи арматуры, неплотности фланцев, течи в сварных швах, нарушение армировки изоляторов, сколы и трещины на фарфоровых вводах и т. д.); проверяется исправность маслоуказателя и термометра, после чего демонтируют термометр, термометрический сигнализатор, пробивной предохранитель, цепи сигнализации и защиты.

Очищают наружную поверхность трансформатора, пользуясь при сильном загрязнении металлическими скребками, щетками и салфетками, смоченными в растворителе. Иногда до разборки очищают только крышку, а остальную поверхность очищают параллельно с ремонтом активной части.

При обнаружении утечек масла в сварных швах, фланцах или других соединениях для более полного определения дефекта создают избыточное давление масла. Затем полностью или частично сливают масло.

Если в день демонтажа наружных устройств активную часть из бака не вынимают, масло сливают до уровня верхнего ярма, чтобы изоляция и обмотки оставались в масле. Если ремонт намечено закончить за один прием или выявлена необходимость сушки активной части, то масло сливают полностью че-

рез нижний кран бака с помощью насоса. У трансформаторов I и II габаритов масло сливают самотеком.

Если масло можно использовать для дальнейшей эксплуатации, его сливают в чистый бак с герметически закрывающимся люком. Бракованное масло сливают в емкость для грязного масла.

Для вскрытия трансформатор устанавливают таким образом, чтобы ось крюка подъемного механизма проходила через центр тяжести трансформатора. В этом случае при подъеме и опускании активная часть не задевает за стенки бака.

У трансформаторов, на крышке которых смонтированы расширитель, предохранительная труба и другая арматура, разборку производят в следующем порядке: сначала демонтируют газовое реле, затем предохранительную трубу и расширитель. Отверстия реле закрывают временными глухими фланцами, закрепляя их освободившимися болтами. Реле укладывают на стеллаж или сразу отправляют в электролабораторию для проверки и испытаний. При демонтаже расширителя закрывают стекло маслоуказателя временным щитком из фанеры.

Для предотвращения попадания влаги в бак трансформатора и расширитель все отверстия на крышке и расширителя закрывают глухими фланцами, используя для уплотнения старые резиновые прокладки. Работы по демонтажу крышки производят осторожно, чтобы не повредить фарфоровые вводы, стекла маслоуказателя и газового реле. Далее отвинчивают болты, крепящие крышку, после извлечения болтов из отверстий их укомплектовывают шайбами и гайками, укладывают в ведра или ящики и смачивают керосином.

Дальнейшая последовательность разборки определяется конструктивным исполнением трансформатора. Если активная часть механически связана с крышкой вертикальными шпильками, то отсоединяют разъем крышки от бака и вынимают активную часть из бака вместе с крышкой. Если крышка с активной частью не связана, то демонтируют все элементы, установленные на крышке (съемные вводы и привод переключателя ответвлений). Снятые фарфоровые изоляторы осматривают, обращая особое внимание на места сопряжения глазурованной поверхности с кулачками, прижимающими изолятор к крышке, проверяют наличие трещин или сколов. Все детали вводов и привода переключателя укладывают на предназначенные для них места. Грузоподъемным механизмом или вручную поднимают крышку, чтобы токоведущие шпильки вводов и вал переключателя вышли из отверстий в ней. Затем отводят крышку от бака, чтобы грязь с нее не попала внутрь трансформатора.

Наиболее ответственной является строповка и выемка активной части из бака. Для строповки на активной части имеются

подъемные кольца (рымы). У трансформаторов мощностью до 400 кВ·А их два, у трансформаторов большей мощностью — четыре. На подъемные кольца и крюк подъемного механизма надевают петли стропов и в отверстия колец вставляют стальные стержни. При строповке активной части, связанной с крышкой, применяют стропы необходимой длины, чтобы шпильки не сгибались (рис. 11.2). При каждом использовании подъемного

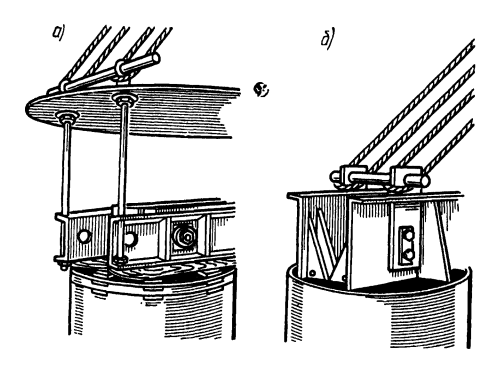


Рис. 11.2. Устройства для подъема активной части за кольца на крышке (*а*) и за планки (*б*)

механизма проверяют работу его тормоза и надежность строповки груза. Активную часть приподнимают над опорной поверхностью на 100—200 мм, несколько минут держат на весу, затем опускают на дно бака и уже затем поднимают до уровня, удобного для промывки активной части над баком.

Перед промывкой активную часть осматривают, обращая внимание на места отложения шлама и загрязнений в обмотках, в охлаждающих каналах и на активной стали. Большие скопления шлама свидетельствуют о наличии перегревов в этих местах. Результаты осмотра записывают в ведомость дефектов.

Активную часть промывают струей теплого чистого масла из шланга, проведенного от емкости, поднятой на высоту около 3 м над полом. Емкость на 30—40 л наполняется теплым маслом насосом непосредственно перед промывкой. Стараются тщательно промывать масляные каналы обмоток и магнитной системы, а также другие доступные для промывки части трансформатора. После окончания промывки и стока масла активную часть полностью вынимают. Если подъемное устройство имеет возможность горизонтального перемещения, то активную

часть транспортируют на заранее подготовленную площадку и опускают на деревянные бруски, размещенные в противне. Если такой возможности нет, то отодвигают в сторону бак и на его место ставят противень, в который устанавливают активную часть.

§ 11.3. Ремонт активной части трансформатора

Ремонт обмоток. При ремонте проверяют качество прессовки, отсутствие деформации, исправность паек и контактов в местах соединения отводов, а также состояние изоляции обмоток и отводов. Качество изоляции определяется ее физико-химическими свойствами: эластичностью, твердостью, упругостью, цветом. Принято считать изоляцию пригодной к дальнейшей эксплуатации, если она эластична, не ломается, не дает трещин при изгибе под углом 90° и имеет светлый цвет.

В настоящее время для изоляции, не пропитанной лаком, разрабатывается химический метод определения степени старения изоляции, основанный на изменении структуры целлюлозы под воздействием температуры, вибрации и электромагнитных сил.

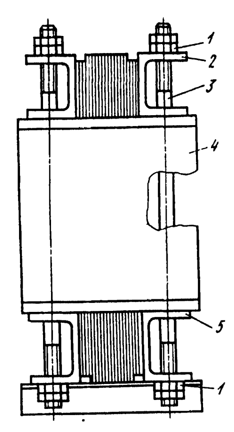


Рис. 11.3. Эскиз активной части трансформатора

В процессе эксплуатации трансформаторов происходит ослабление осевой прессовки обмоток, вызванное в основном усадкой бумажной изоляции из-за усыхания. Происходит также уменьшение осевых размеров обмоток и концевой изоляции от действия ударных сил при коротких замыканиях в процессе эксплуатации, а также вследствие некачественной сборки. Ослабленная прессовка обмоток при коротких замыканиях, вызывающих значительные механические усилия, может привести к разрушению обмоток. Ослабление прессовки легко обнаруживается при попытке перемещений рукой изоляционных деталей и прокладок (при слабой прессовке они сдвигаются с места). Для устранения этого явления в трансформаторах до III габарита обмотки *4* подпрессовывают ярмовыми балками *2* и *5* путем подтяжки гаек *1* вертикальных шпилек *3* (рис. 11.3).

При значительном ослаблении прессовки иногда ослабляют затяжку балок верхнего ярма и вертикальную стяжку между верхними и нижними ярмовыми балками. При неодинаковых осевых размерах обмоток ВН и НН в обмотки закладывают

дополнительную изоляцию в виде разрезных колец и прокладок, выравнивая их осевые размеры. Затем обмотки прессуют вертикальной стяжкой ярмовых балок. После окончательной прессовки обмоток и затяжки ярма мегаомметром измеряют сопротивление изоляции стяжных шпилек.

Обмотки трансформаторов, не имеющих специальных прессующих устройств, подпрессовывают расклиновкой. В этом случае в верхней части обмоток между уравнительной и ярмовой изоляцией забивают дополнительные изоляционные прокладки-клинья, которые изготовляют из предварительно высу-

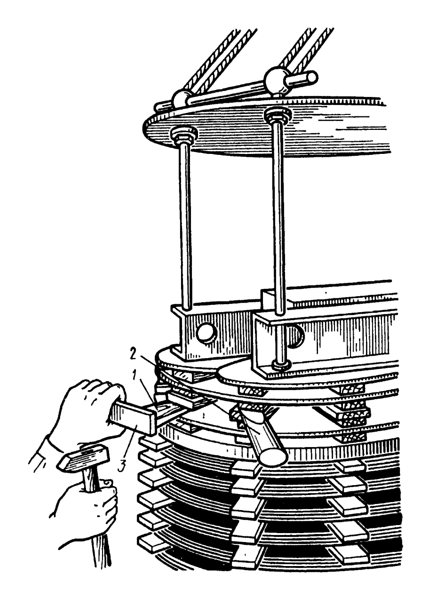


Рис. 11.4. Эскиз обмотки трансформатора с прессующими клиньями:

1 — дополнительный деревянный клин; *2* — вспомогательный клин; *3* — деревянный брусок

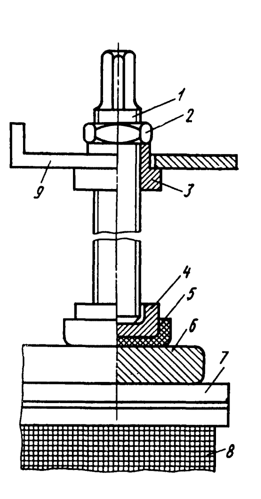


Рис. 11.5. Схема прессовки обмоток кольцами и нажимными винтами

шенного прессованного электроизоляционного картона. Расклиновку производят равномерно по всей окружности обмотки, обходя поочередно один ряд прокладок за другим (рис. 11.4).

Осевую прессовку обмоток сухих трансформаторов мощностью более 160 кВ·А и масляных III габарита и выше выполняют нажимными стальными кольцами *6* и винтами *1,* установ-

ленными в полках *9* верхних ярмовых балок (рис. 11.5). На опорной изоляции *7* обмоток *8* установлено массивное стальное прессующее кольцо *6*, имеющее разрыв во избежание образования короткозамкнутого витка. В полку верхней ярмовой балки вварены круглые стальные втулки *3*, в которые ввинчивают нажимные винты *1*. Если винтами давить непосредственно на прессующее кольцо *6*, то оно через винты и ярмовую балку замкнется и образуется короткозамкнутый виток. Стальное кольцо *6* изолируют от ярмовых балок пластмассовыми, текстолитовыми или изготовленными из прессованного электрокартона или специального пресс-порошка пятами *5*. Чтобы при завинчивании винта *1* давление не было сосредоточенным и изоляционная пята *5* не продавилась, в нее вставляют стальной башмак *4*. Самоотвинчивание винтов *1* в процессе работы трансформатора или при его транспортировке предотвращают установкой гаек *2*, которые затягивают до отказа.

Для равномерной прессовки обмоток на каждое прессующее кольцо устанавливают четыре — шесть винтов (у более мощных трансформаторов их количество увеличивают). Для обмоток силовых трансформаторов напряжением до 110 кВ включительно применяют в основном общую кольцевую прессовку, т. е. все обмотки, размещенные на стержне, прессуют одним общим кольцом. Для трансформаторов напряжением 220 кВ и более применяют раздельную прессовку обмоток — каждую обмотку прессуют своим кольцом. Каждое прессующее кольцо заземляют гибкой перемычкой, соединяющей его с ярмовой балкой (рис. 11.6).

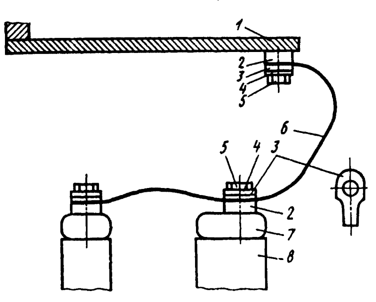


Рис. 11.6. Схема заземления прессующих колец при раздельной прессовке обмоток:
1 — полка ярмовой балки; *2* — бобышка; *3*, *4* — стопорная и пружинная шайбы; *5* — болт; *6* — заземляющая шинка; *7* — прессующие кольца обмоток; *8* — обмотки

В целях экономии металла, совершенствования конструкции и уменьшения добавочных потерь в настоящее время разработаны конструкции прессующих колец из древесно-слоистых пластиков.

Подпрессовку обмоток, имеющих нажимные винты и кольца, выполняют в такой последовательности: ослабляют гайки, предотвращающие самоотвинчивание нажимных винтов, равномерно в перекрестном порядке; до отказа завинчивают винты и затягивают гайки; подтягивают креплеиия заземляющих перемычек, соединяющих прессующие кольца с ярмовыми балками.

Заземляющие перемычки предварительно отсоединяют от ярмовых балок и измеряют сопротивление изоляции нажимных колец относительно ярмовых балок и магнитной системы.

Чтобы избежать указанной подпрессовки обмоток, разработаны различные конструкции автоматической прессовки в процессе работы трансформатора. Наиболее эффективной является конструкция с гидропружинным запорным устройством (рис. 11.7). Это простое и дешевое в изготовлении устройство оправдало себя на ряде мощных трансформаторов 110—220 кВ. Гидропружинное устройство конструктивно представляет собой два вставленных один в другой стальных взаимно подвижных цилиндра *2* и *3*, заполненных трансформаторным маслом, и совмещенных со сжатой винтовой пружиной *4*, расположенной снаружи цилиндров. При усадке изоляции обмоток цилиндры *2*, *3* под воздействием разжимающей пружины *4* раздвигаются и во внутреннюю их полость засасывается из бака трансформатора дополнительно необходимое количество масла (через отверстия нижнего и верхнего ниппелей). При коротком замыкании электродинамические усилия от обмоток *12* через стальной *9* и текстолитовый *10* башмаки передаются на гидродомкраты, давление масла в полостях цилиндров резко возрастает и масло запирается конусной частью ниппеля *1*.

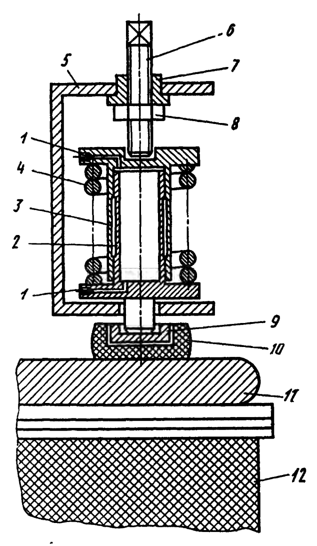


Рис. 11.7. Эскиз гидропружинного запорного устройства

Гидропружинное устройство размещается между прессующим кольцом *11* и нажимными винтами *6*. Возможны и другие варианты установки. На рис. 11.7 показана установка гидропружинного устройства в ярмовой балке *5*. В процессе сборки после сушки активной части завинчивают в фасонные гайки *7* нажимные винты *6* до упора в цилиндры *2*, *3* и навинчивают контргайки *8*, а далее в процессе работы трансформатора подпрессовка происходит автоматически. Трансформаторное масло, которым заполнен резервуар гидропружинного домкрата, выдерживает очень большие ударные нагрузки. Поглощая энергию удара, масло служит хорошим амортизатором.

При ремонте обмоток осматривают витковую изоляцию и, если обнаруживают места повреждений, витки изолируют предварительно высушенной лентой из маслостойкой лакоткани, которую пропускают между витками. При достаточно хорошем качестве витковой изоляции крайние витки в месте дополнительной изолировки осторожно раздвигают электрокартонным клином для удобства пропуска ленты. В случае повреждения изоляции в удаленной части катушки между витками закладывают полоску из электрокартона толщиной 0,3—0,5 мм. В месте, где изоляция витка восстановлена, на катушку накладывают бандаж из тафтяной ленты вполуперекрышку. Операцию выполняют аккуратно, чтобы не повредить изоляцию других витков. На рис. 11.8 показана последовательность восстановления поврежденной изоляции витка.

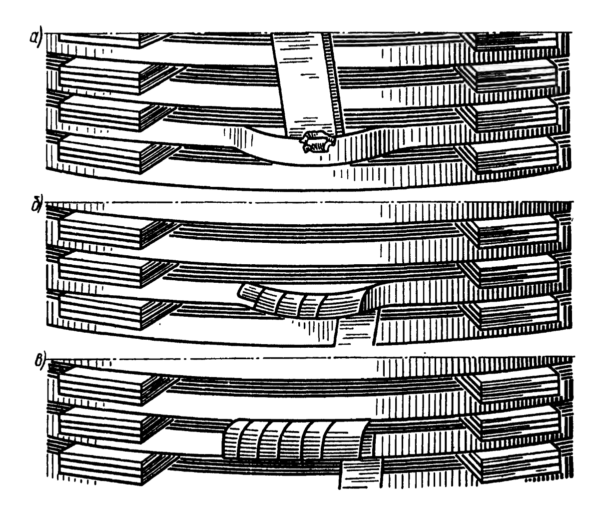


Рис. 11.8. Восстановление поврежденной изоляции витка:
а — раздвигание витков клином; *б* — изолирование витка; *в* — наложение бандажа на катушку

Ремонт магнитной системы. Ремонт магнитной системы начинают с проверки чистоты вентиляционных каналов и отсутствия на их поверхности мест перегрева. Признаками местных перегревов служат цвета побежалости (изменение цвета стали на желтый, фиолетовый, синий, серый и др.) и наличия про-

дуктов разложения масла в виде черной спекшейся массы. У сухих трансформаторов вентиляционные каналы продувают сжатым воздухом, у масляных — промывают струей горячего трансформаторного масла.

Затем проверяют плотность прессовки активной стали ярм, качество изоляции пластин, сопротивление изоляции стяжных шпилек, состояние изоляции ярмовых балок относительно активной стали, состояние заземляющих перемычек между ярмовой балкой и магнитной системой, отсутствие мелких внешних дефектов.

Измерение сопротивления изоляции проводят с помощью мегаомметра. Если сопротивление изоляции одной или нескольких шпилек значительно меньше, чем остальных, или равно нулю, отвинчивают гайки, извлекая шпильки из отверстий в ярме вместе с изолирующими их бумажно-бакелитовыми трубками, и осматривают их. При наличии на изоляционных трубках и шпильках признаков чрезмерного перегрева и при обнаружении замыкания листов активной стали[1] верхнее ярмо разбирают для устранения повреждений, а пластины его при необходимости подвергают переизолировке. Поврежденные шпильки и изоляционные трубки заменяют новыми.

Перед окончательной прессовкой ярма от прессующей балки отделяют заземляющую ленту и измеряют сопротивление изоляции ярмовых балок относительно активной стали, а также качество изоляции изоляционных прокладок, установленных между активной сталью и ярмовыми балками.

При хорошем качестве изоляции устанавливают на место заземляющую ленту, гайки стяжных шпилек затягивают до отказа и раскернивают их для предотвращения самоотвинчивания.

У магнитных систем бесшпилечной конструкции подпрессовку ярм производят подтяжкой гаек на внешних шпильках, скобах, полубандажах. Проверяют качество изоляции полубандажей, отсутствие в их цепи замкнутого контура; измеряют сопротивление изоляции подъемных пластин (расположенных вдоль стержней) по отношению к активной стали.

При выполнении всех работ на магнитной системе обмотки должны быть тщательно закрыты для исключения попадания на них посторонних предметов.

Ремонт переключающих устройств. При ремонте устройств переключения без возбуждения (ПБВ) тщательно осматривают все контактные соединения переключателя и отводов; определяют плотность прилегания контактов, проверяя зазор между ламелями щупом, а также измерением переходного электрического сопротивления. Особое внимание обращают на состоя-

---

[1] В результате осмотра отверстий в ярме с помощью переносной лампы.

ние контактной поверхности, при наличии подгаров или оплавлений устройство заменяют. В отдельных случаях в зависимости от характера или степени повреждения устройство восстанавливают.

Для удаления налета, образующегося при работе в масле, контактную часть переключателя тщательно протирают технической салфеткой, смоченной в ацетоне или бензине. Остальную часть устройства промывают чистым трансформаторным маслом.

При ремонте переключающих устройств регулирования под нагрузкой (РПН) кроме общих работ по очистке, протирке и промывке наружных и внутренних поверхностей деталей и частей устройства проверяют контактные поверхности избирателя ступеней, контакторов и электрической части приводного механизма. Подгоревшие контакты избирателя, главные контакты контактора и привода тщательно зачищают и проверяют на плотность прилегания; при этом выясняют и устраняют причину подгорания.

Необходимо отметить, что отказ в работе привода может быть вызван попаданием влаги из-за плохой герметичности дверцы шкафа, а также из-за значительных люфтов соединительных валов. Выявленные люфты в звеньях кинематической схемы привода переключающего устройства следует устранить. Необходимо тщательно удалить со дна бака контактора осадки, которые остаются после слива масла через маслосливной кран, а также выполнить другие работы в соответствии с инструкцией по эксплуатации устройства РПН.

Ремонт отводов. При осмотре отводов обращают внимание на их изоляцию и соединения (контакты). Признаком нарушения контакта отводов, работающих в масле, является потемнение изоляции, а также отложение на их поверхности черной спекшейся массы. Обнаруженные дефектные соединения перепаивают и изолируют. Крепление отводов подтягивают планками, шпильками и гайками.

Ремонт вводов, бака и наружных узлов трансформатора. Указанные элементы ремонтируются параллельно с ремонтом активной части. Технология ремонта этих узлов описана в гл. 12.

§ 11.4. Заключительные операции при капитальном ремонте

Установка активной части в бак. После ремонта крышки, комплектовки ее вводами и другой арматурой и присоединения всех отводов активную часть тщательно обтирают (за исключением обмоток, которые только промывают маслом) и окончательно осматривают. Измеряют сопротивление изоляции обмоток

и стяжных шпилек, после чего переходят к предварительным испытаниям, которые позволяют оценить состояние изоляции трансформаторов. При значительном отклонении характеристик изоляции от нормированных активную часть подвергают сушке (см. § 2.3).

Уплотнение между крышкой и бортом рамы бака, как правило, заменяют. Резиновое уплотнение допускается использовать в виде длинной полосы, при этом стыки полосы склеивают и размещают между отверстиями в раме бака (рис. 11.9).

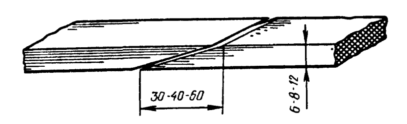


Рис. 11.9. Эскиз склеенной встык резиновой прокладки

Если при испытании дефектов не обнаружено и изоляция не увлажнена, активную часть устанавливают в бак, собирают узлы крепления активной части в баке и сразу монтируют крышку, после чего заполняют бак несколько выше уровня верхнего ярма сухим чистым маслом, температура которого должна быть не ниже 10°С. Для выхода из бака воздуха при заполнении его маслом одно из отверстий в крышке держат открытым, защитив его от случайного попадания посторонних предметов.

Рис. 11.10. Установка расширителя и газового реле:

1 — крышка бака; *2* — кронштейн; *3* — расширитель; *4* — фланец патрубка расширителя; *5* — плоский кран; *6* — прокладка; *7* — болты; *8* — газовое реле; *9* — патрубок крышки; *10* — прокладка; *11* — продольные отверстия в кронштейнах

Установка расширителя, газового реле и других устройств. После установки крышки и заливки активной части маслом монтируют все наружные узлы, в том числе расширитель, газовое реле, предохранительную трубу и другие устройства (рис. 11.10). При этом заменяют новыми все уплотняющие прокладки.

Газовое реле устанавливают после предварительной проверки в лаборатории его поплавковой системы, электрических цепей и герметичности. Проверяют работу крана маслопровода, соединяющего расширитель с баком.

Приборы для измерения температуры монтируют после предварительной их проверки и транспортировки трансформатора на место установки.

Испытание трансформатора на герметичность. После полной сборки трансформатор доливают маслом из той же партии, из которой осуществлялось заполнение бака, и испытывают на герметичность. При этом для сообщения бака с наружным воздухом и заполнения устройств маслом открывают кран, установленный между газовым реле и расширителем, вывертывают верхнюю пробку расширителя, все воздушные винты и пробки на вводах, радиаторах, термосифонных фильтрах и других устройствах, где они предусмотрены. Когда масло начинает просачиваться, пробки и винты ввертывают и уплотняют (прядями асбеста). Затем масло доливают до нормального уровня в расширителе (по маслоуказателю).

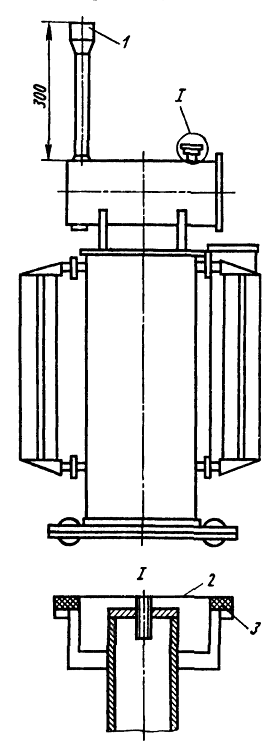


Рис. 11.11. Испытание трансформатора на герметичность:

1 — труба с воронкой; *2* — крышка масляного затвора; *3* — шайба

Часто доливку масла совмещают с контрольным испытанием герметичности трансформатора. Для этого в пробку расширителя или крышки устанавливают трубу с воронкой (рис. 11.11). Высота уровня масла в воронке над крышкой составляет для трансформаторов с трубчатыми и гладкими баками 1,5 м, а с волнистыми и радиаторными — 0,9 м; высота над верхней точкой расширителя соответственно 0,6 и 0,3 м. Такой уровень масла выдерживают в течение 3 ч. Трансформатор *считают выдержавшим* испытание, если за это время не обнаруживают просачивания и утечки масла. Если возникшие течи удалось устранить подтяжкой уплотнений, то с этого момента выдерживают уровень масла 3 ч, после чего испытание заканчивают.

При ремонте баков и радиаторов иногда пользуются гидравлическим прессом для испытания избыточным давлением. После проверки герметичности масло спускают через нижний кран до нормального уровня, наблюдая за работой маслоуказателя. Если он исправен и сообщается с расширителем обоими патрубками, то уровень масла в стекле понижается плавно, без срывов и всплесков.

После полного выделения из масла воздуха (через 8—10 ч после доливки трансформатора маслом) берут пробу масла для сокращенного химического анализа и испытания на электрическую прочность.

После полной сборки и испытания на герметичность наружную поверхность трансформатора красят антикоррозионными и маслостойкими эмалями светлых тонов. Эмаль наносится на очищенную поверхность, при окраске вводы и приборы обертывают бумагой, чтобы предохранить их от попадания краски.

После окончания ремонта трансформатор подвергают контрольным испытаниям в следующем объеме: испытание трансформаторного масла на электрическую прочность; измерение характеристик изоляции (R_{60}, R_{60}/R_{15}, емкостных характеристик и $\mathrm{tg}\,\delta$ изоляции); испытание главной изоляции приложенным напряжением; измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Контрольные вопросы

1. По какому признаку можно классифицировать ремонты трансформаторов?
2. Какие организационно-технические мероприятия необходимо выполнить перед проведением ремонта?
3. Назовите основные виды работ, выполняемых до ремонта активной части. В какой последовательности они выполняются?
4. Какие операции выполняют при ремонте обмоток (без разборки активной части)?
5. Как проводят ремонт магнитной системы трансформатора?
6. Каковы основные работы при ремонте переключающих устройств и отводов?
7. Как производится опускание активной части в бак и заливка его маслом?
8. Какие испытания проводят после сборки трансформатора?

ГЛАВА 12
КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРА С РАЗБОРКОЙ АКТИВНОЙ ЧАСТИ

Рассмотрено содержание капитального ремонта трансформатора с разборкой активной части, последовательность разборки и дефектировки трансформатора. В процессе разборки производят отбраковку частей, ремонт или замену демонтированных устройств новыми. Технология ремонта обмоток, магнитной системы и последующая сборка активной части трансформатора максимально приближена к заводской. Обязательными при этом виде ремонта являются сушка активной части трансформатора и очистка масла. После окончания ремонта производят испытания трансформатора по программе приемо-сдаточных испытаний.

§ 12.1. Дефектировка трансформатора

Прием трансформаторов в ремонт. Не все вышедшие из строя трансформаторы подвергаются ремонту. Не ремонтируют трансформаторы с магнитной системой из горячекатаной стали, оклеенной бумагой (из-за повышенных потерь холостого хода), с практически полностью вышедшей из строя магнитной системой (оплавление пластин, «пожар в стали»), а также со значительным повреждением баков, так как для большого по объему ремонта баков необходимо специальное оборудование, которым нецелесообразно оснащать электроремонтное предприятие.

При сдаче трансформатора в ремонт заказчик составляет наряд-заказ, в котором указывает область применения трансформатора; условия, в которых он эксплуатировался (характер нагрузок, наличие толчков и перегрузок, загрязненность воздуха и т. п.); специальные требования; дефекты и неисправности, имевшие место при эксплуатации (течь масла; повышенные температура масла, потери и т. д.); виды и сроки ремонтов, которым подвергался трансформатор, с указанием выполнявшей ремонт организации.

Представители ремонтного предприятия знакомятся с технической и эксплуатационной документацией трансформатора (паспорт, акты об авариях, журналы ремонтов, протоколы испытаний и т. п.), осматривают, проводят дефектировку трансформатора и все сведения заносят в соответствующие разделы «Ведомости осмотра и дефектировки», после чего окончательно определяют требуемый объем ремонта. При ремонте с заменой обмоток оформляется заказ на новые обмотки на предприятии-изготовителе, если ремонтное предприятие новые обмотки не изготовляет.

При осмотре активной части трансформатора, ее отдельных элементов и деталей измеряют размеры магнитной системы, обмоток, изоляционных расстояний и т. д. и составляют карту обмеров, в которой фиксируются также результаты промежуточных испытаний в процессе ремонта отдельных узлов трансформатора.

При ремонте ведут документацию по особо ответственным операциям. Например, для трансформаторов I—IV габаритов такой операцией является сушка активной части, в процессе которой ведут протокол (журнал сушки). После капитального ремонта выполняют полный комплекс приемо-сдаточных испытаний трансформатора, по которым составляют протокол испытаний, являющийся основным документом.

При сдаче отремонтированного трансформатора заказчику составляют приемо-сдаточный акт, в котором перечисляются все выполненные работы и даются рекомендации по использо-

ванию трансформатора в части специальных требований (параллельной работы, несимметричных режимов и др.).

Дефектировка в собранном виде. В объем капитального ремонта входят полная или частичная замена обмоток и главной изоляции, ремонт магнитной системы с полной или частичной переизолировкой пластин, реконструкция или замена отдельных устройств, системы охлаждения, устройств переключения ответвлений и т. п. При капитальном ремонте приходится разбирать активную часть трансформатора. До ее разборки трансформатор демонтируют в той же последовательности, что описана в гл. 11.

После расшихтовки верхнего ярма снимают обмотки и изоляцию. При необходимости переизолировки пластин магнитную систему разбирают. Полностью разобрав трансформатор, производят дефектировку его частей, ремонтируют узлы и детали или заменяют их новыми и затем производят сборку. При ремонтах с расшихтовкой верхнего ярма обязательными являются сушка активной части и очистка трансформаторного масла (см. гл. 11).

Каждый трансформатор, принятый в ремонт, имеет ремонтный номер; при разборке маркируют все части, вновь устанавливаемые на трансформатор после ремонта. До разборки устанавливается комплектность трансформатора; на все недостающие части составляют отдельный список, который прикладывают к ведомости осмотра и дефектировки.

Для выявления течей масла осматривают бак, отмечая места протечек мелом. Определяют состояние вводов. К дефектировке в собранном виде относятся и предварительные электрические испытания, необходимые для определения наличия повреждений и их характера: отбор пробы масла для испытания его электрической прочности и сокращенного химического анализа; измерение характеристик изоляции.

При разборке трансформатора каждый узел или деталь, демонтированные с него, дефектируют и сразу определяют объем ремонтных работ, который необходимо выполнить для последующей установки на трансформатор.

Рассмотрим последовательность работ и технологические операции с момента выемки активной части из бака (для трансформаторов II—III габаритов).

При осмотре активной части определяют состояние изоляции обмоток и отводов, качество прессовки обмоток, отсутствие деформаций и других повреждений обмоток.

Бумажную изоляцию проверяют на отсутствие повреждений и определяют ее механическую прочность, условно разделяя на эластичную (при сгибе вдвое не ломается, 1-й класс прочности), твердую (при сгибе вдвое образуются трещины, 2-й класс прочности), хрупкую (при сгибе вдвое изоляция ломается, 3-й класс

прочности) и ветхую (при сгибе до прямого угла изоляция ломается, 4-й класс прочности).

Определяют также состояние главной изоляции, отсутствие деформаций обмоток и смещения витков. В зависимости от конструкции и причин возникновения дефектов может ставиться вопрос о полном изменении конструкции обмоток и главной изоляции.

Осматривают и фиксируют в ведомости дефектов состояние отводов, переключателя ответвлений, контактов и паек, стяжных шпилек и их изоляции, исправность заземления магнитопровода, отсутствие короткозамкнутого контура в магнитной системе и выполнение условий, исключающих его образование. Если активная часть подлежит разборке, то перед демонтажем отводов выполняют эскиз их размещения и крепления планками.

По результатам дефектировки активной части окончательно устанавливают объем ремонта трансформатора.

При хорошем состоянии обмоток и магнитопровода активную часть ремонтируют в объеме, рассмотренном в § 11.3; при необходимости (по состоянию изоляции) активная часть может подвергаться сушке.

При осмотре активной части определяют основные размеры магнитной системы, измеряя длину ярма и ширину средней ступени стержня, высоту окна (как расстояние между внутренними плоскостями верхнего и нижнего ярем в свету), а также ширину и толщину пакетов и охлаждающих каналов между ними. Во избежание ошибок при измерениях все замеры необходимо сопоставлять с общими размерами магнитной системы. По результатам замеров составляют эскиз магнитной системы.

Если объем ремонта требует полной дефектировки, определяют размеры обмоток и их частей, отдельные изоляционные расстояния, размеры изоляционных цилиндров, числа витков в отдельных катушках, конструкцию и состояние внутренних обмоток, а также конструкцию и состояние всей внутренней изоляции (от обмотки до стержня и между обмотками).

Весьма ответственными данными при дефектировке являются размеры провода, а также определение числа витков в обмотках. При отсутствии технического паспорта на трансформатор число витков в обмотке фазы можно определить при помощи контрольной обмотки, намотанной на изоляционный цилиндр из мягкого электрокартона поверх комплекта обмоток трансформатора.

Для исключения ошибок при дефектировке производятся расчетная проверка и сопоставление полученных данных (см. гл. 15).

§ 12.2. Демонтаж активной части трансформатора

Демонтаж крышки и отводов. Разборку активной части, связанной с крышкой подъемными шпильками, начинают с отсоединения от переключающего устройства и вводов регулировочных и линейных отводов. Перед отсоединением отводы маркируют (с обозначением вводов и зажимов переключателя). Вводы и переключатель ответвлений демонтируют до или после съема крышки с активной части.

При осмотре вводов определяют возможность их повторного использования. Если нет местных повреждений (прогары, растрескивания, сползание изоляции), отводы демонтируют (в месте соединения с обмоткой отвод очищают ножом от изоляции, при большом сечении отпаивают отвод с помощью специальных клещей с угольными электродами). Если все отводы имеют хорошую изоляцию и не нуждаются в замене, их снимают вместе с несущей деревянной рамной конструкцией, что позволяет сократить объем работ при сборке.

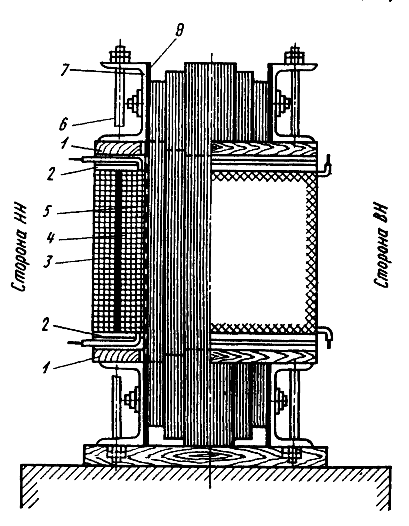


Рис. 12.1. Эскиз активной части трансформатора (боковая проекция):

1 — уравнительная изоляция; *2* — ярмовая изоляция; *3*, *4* — обмотки ВН и НН; *5* — изоляционные цилиндры; *6* — вертикальные стяжные шпильки; *7* — верхняя ярмовая балка (сторона НН); *8* — изоляционная прокладка

Расшихтовка верхнего ярма, демонтаж обмоток и изоляции. Разборку активной части начинают с распрессовки обмоток и верхнего ярма (рис. 12.1). Ярмовые балки со стороны ВН и НН не взаимозаменяемы, поэтому перед съемом их маркируют надписями. В процессе расшихтовки верхнего ярма по первым вынутым пластинам устанавливают качество изоляции пластин и необходимость ее восстановления. Как правило, весь демонтированный комплект пластин верхнего ярма укладывают в контейнер, который отправляют к лакировальной установке.

Приступая к демонтажу обмоток и изоляции, уже можно оценить состояние обмоток и изоляции и решить вопрос об их

использовании после устранения неисправностей. Если обмотки не заменяют, а только ремонтируют или снимают для устранения неисправностей в магнитной системе (стержне или нижнем ярме), то детали главной изоляции снимают, осматривают, устраняют небольшие дефекты и используют в дальнейшем. При повреждении хотя бы одной из обмоток в большинстве случаев демонтируют со стержней все обмотки, так как металлические оплавления и копоть, возникшие под действием электрической дуги, осаждаются на всех обмотках и изоляции.

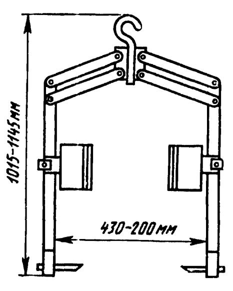


Рис. 12.2. Съемник обмоток трансформаторов I—II габаритов

Обмотки, имеющие большую массу, снимают специальным съемным приспособлением. При ремонте, например, трансформаторов I—II габаритов оно представляет собой двухлучевую траверсу, позволяющую не только снимать и насаживать обмотку, но и транспортировать ее (рис. 12.2). Съемник имеет выдвижные лапы и держатели, обтянутые резиной. Лапы съемника заводят под обмотку так, чтобы они не задевали за соседнюю обмотку и ее изоляцию.

После демонтажа обмоток снимают со стержня нижнюю ярмовую и уравнительную изоляцию, электрокартонный цилиндр и буковые детали расклиновки внутренней обмотки. Если обмотки заменяют вследствие длительной работы и износа изоляции, то обычно заменяют и деревянные детали.

§ 12.3. Ремонт обмоток и магнитной системы трансформатора

Ремонт обмоток трансформатора. Если при сильном нажатии пальцем изоляция разрушается, должен быть решен вопрос о замене обмоток. В ряде случаев при аварийных повреждениях обмоток, связанных с выгоранием проводов и изоляции в зоне виткового замыкания, производят частичную перемотку обмоток. При ремонте с обмоточного провода удаляется старая изоляция, после чего он отжигается, рихтуется и переизолируется.

Для удаления старой изоляции и отжига обмотку разматывают на отдельные бухты, которые нагревают в закрытой печи при температуре 500—600°С. При этом изоляция обгорает и снимаются внутренние упругие напряжения в меди — она ста-

новится «мягкой». Чтобы провод не спутался при обжиге, бухты бандажируют проволокой и устанавливают на специальные стойки.

При ремонте применяют способ механического удаления старой изоляции путем протягивания провода через устройство, в котором изоляция разрезается в продольном направлении, очищается скребками и рихтуется. Провод рихтуют протягиванием через систему стальных роликов, перематывают на барабаны, которые во избежание значительных перегибов провода должны иметь диаметр не менее 400—500 мм.

Концы провода соединяют внахлест электропайкой серебряным припоем. Места паек опиливают, зачищают наждачной шкуркой, после чего провод изолируют на специальных бумагооплеточных станках.

Следует отметить, что все ремонтные работы, а производство обмоток в особенности, требуют строгого соблюдения технологической дисциплины.

Ремонт магнитной системы трансформатора. Только после демонтажа обмоток оказывается возможным провести окончательную дефектировку и определить объем ремонтных работ магнитной системы. После очистки стержней и нижнего ярма от загрязнений, шлама и копоти проверяют качество и механическую прочность изоляции пластин магнитной системы, изоляцию ярмовыми балками и пластинами.

Пластины с лаковым покрытием не должны спекаться, а пленка не должна отделяться от них при воздействии неострым предметом. Магнитную систему считают годной для дальнейшей сборки и работы, если на стяжных шпильках и пластинах стали нет признаков повреждений, а состояние их изоляции хорошее. При обнаружении мелких дефектов производят частичный ремонт, не прибегая к полной разборке магнитопровода.

Полный ремонт магнитной системы представляет собой трудоемкую работу. Как правило, магнитная система с лаковой изоляцией пластин надежно работает в течение длительного времени. Причиной ремонта может быть, например, аварийный процесс, возникший в результате нарушения изоляции пластин и образования контура (короткозамкнутого витка) в магнитной системе и стальных деталях остова (рис. 12.3). По контуру, сцепленному с основным магнитным потоком, протекает значительный ток, приводящий к выгоранию изоляции и стали.

Возможны случаи повреждения стали электрической дугой, возникшей при коротком замыкании в обмотках. В большинстве случаев при ремонте магнитной системы ограничиваются переизолировкой только пластин верхнего ярма. Каждая перешихтовка верхнего ярма приводит к увеличению потерь холостого хода на 5—8% (полная переборка магнитной системы —

до 25%). Поэтому стремятся по возможности устранить повреждения магнитной системы без ее разборки.

Полный ремонт магнитной системы включает следующие операции: установку магнитной системы в горизонтальное положение, разборку и расшихтовку стержней и нижнего ярма; отбраковку и ремонт пластин; изготовление новых пластин, сборку и испытание магнитной системы.

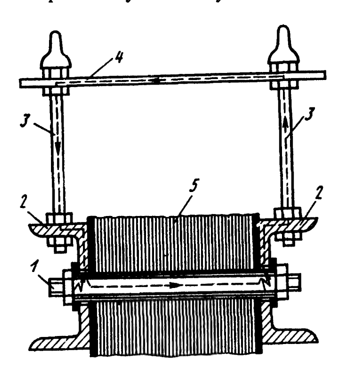


Рис. 12.3. Эскиз магнитной системы трансформатора при нарушении изоляции стяжной шпильки ярма:

1 — шпилька; *2* — ярмовая балка; *3* — подъемная шпилька; *4* — крышка бака; *5* — ярмо

Разборка магнитных систем производится в горизонтальном положении (для трансформаторов III—IV габаритов на специальном металлическом кантователе).

Удаление старой изоляции пластин производят механическим (на зачистных станках с движущимися стальными щетками или вручную кордовыми лентами или щетками) или химическим (в ванне с 10—15% раствором едкого натра, нагретого до 80—90°C, с последующей промывкой в горячей воде и сушкой горячим воздухом) способом. Для снятия с пластин бумажной изоляции ее отпаривают в горячей воде с последующей сушкой или обжигают. Пластины вновь изолируют на лакировальной установке (рис. 12.4). После лакиро-

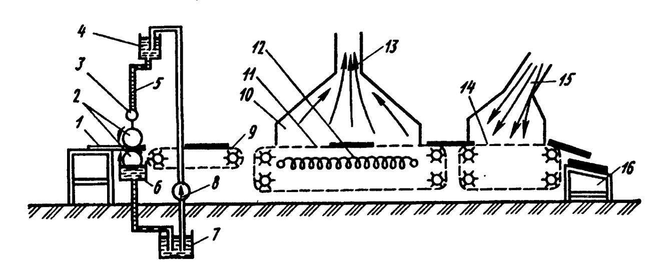


Рис. 12.4. Схема лакировальной машины:

1 — пластина; *2* — резиновые вращающиеся валики; *3* — трубка с отверстиями; *4* — расходный бачок с лаком; *5* — трубка; *6* — ванночка; *7* — бачок; *8* — насос; *9* — транспортер; *10* — конвейерная печь; *11* — рабочая часть транспортера; *12* — электрическая печь; *13* — труба; *14* — транспортер; *15* — труба; *16* — приемный стол

вания и запекания пластины должны иметь равномерный темно-коричневый цвет, а их поверхность должна быть ровной и гладкой без подтеков. В процессе лакирования периодически проверяют толщину пленки, электрическое сопротивление изоляции пластин и состав лака.

При ремонте трансформаторов с разборкой остова стяжку стержней стальными бандажами и сквозными шпильками заменяют на стяжку стеклобандажами, установка которых осуществляется специальным механизмом (рис. 12.5).

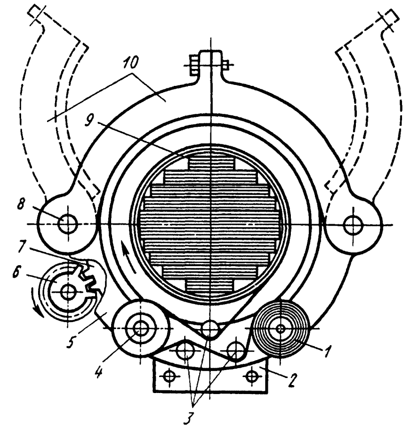


Рис. 12.5. Механизм для намотки стеклобандажей:

1 — бобина с рулоном стоклоленты; 2 — плита для крепления к прессующей балке; 3 — направляющие ролики; 4 — фрикционная муфта; 5 — стальная коробчатая обойма; 6 — зубчатое колесо вала двигателя; 7 — планшайба с зубчатым венцом; 8 — палец; 9 — стержень; 10 — разводной сегмент

Сборка активной части является наиболее ответственным этапом ремонта. Установленные на магнитной системе обмотки соединяют в соответствии с заданной схемой соединения; отводы от обмоток подключают к переключателям и соответствующим вводам.

После сборки схемы активная часть подвергается электрическим испытаниям (проверка правильности выполнения схемы соединения и качества паек). После сборки и испытаний производится сушка активной части трансформатора.

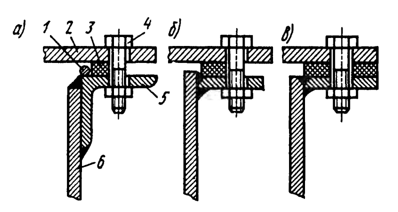


Рис. 12.6. Схема установки прокладки:

1 — стальной пруток; 2 — крышка бака; 3 — прокладка; 4 — болт; 5 — рама бака; 6 — стенка бака

Ремонт бака трансформатора. Параллельно с ремонтом активной части выполняют *ремонт бака, вводов, переключающего устройства и комплектование крышки.* Трещины и дефектные места бака восстанавливают электросваркой, соблюдая при этом правила противопожарной безопасности.

Для уплотнения крышки на борт бака укладывают уплотняющую прокладку из резины. Чтобы она не выдавливалась внутрь бака, применяют различные способы ее установки: приваривают вдоль всего периметра рамы стальной пруток (рис. 12.6, *а*), раму приваривают к выступающей части бака (рис. 12.6, *б*) или используют сплошную прокладку (рис. 12.6, *в*).

Одновременно с ремонтом бака и его арматуры ремонтируют элементы системы охлаждения, предохранительную трубку, расширитель, осушители воздуха, термосифонный фильтр и краны. Эти устройства чистят, промывают, окрашивают, проверяют отсутствие течи, заменяют уплотняющие прокладки и сальниковую набивку в кранах и уплотняющих пробках.

§ 12.4. Испытания трансформаторов после капитального ремонта

Объем и нормы испытаний. После завершения ремонтных работ трансформатор подвергается испытаниям с целью проверки качества и отсутствия дефектов, а также проверки характеристик трансформатора (на соответствие требованиям стандартов[1], технических условий или других регламентирующих документов).

Программа испытаний после капитального ремонта с разборкой активной части трансформатора полностью соответствует программе приемо-сдаточных испытаний в заводских условиях.

В процессе эксплуатации, при монтаже и ремонте трансформатора проводится целый ряд испытаний и измерений, о которых говорилось в гл. 3, 11.

Измерения сопротивления изоляции обмоток являются обязательными после любого вида ремонта. Определение коэффициента абсорбции, измерение $\operatorname{tg}\delta$ изоляции и емкостных характеристик проводят после ремонта с заменой обмоток или при подозрении на загрязненность и увлажнение изоляции. Проверка коэффициента трансформации на всех ступенях переключения напряжения и группы соединения обмоток, а также испытание главной изоляции (вместе с вводами) являются обязательными после ремонта трансформатора с заменой обмоток.

Испытание продольной изоляции обмоток является желательным после ремонта с заменой обмоток (при наличии испытательного оборудования).

После ремонта с заменой обмоток измеряют потери и ток холостого хода при номинальном напряжении, а также напря-

---

[1] Нормы и методы испытаний должны соответствовать требованиям ГОСТ 11677—85, 3484—77, 1516—76.

жение и потери короткого замыкания при номинальном токе. Допускается превышение расчетных (или заводских) значений тока холостого хода не более чем на 30%; потерь — на 15% (для трансформаторов старых лет выпуска до 22%). Допустимые отклонения параметров короткого замыкания от заводских или расчетных — не более 10%. После ремонта без замены обмоток (если производилась подпрессовка ярем магнитной системы) потери холостого хода допускается измерять при пониженном напряжении.

Измерение электрического сопротивления обмоток постоянному току производится в случае, если результаты операционного испытания (при изготовлении обмоток) отличаются от нормируемых (различие сопротивлений на одноименных ответвлениях разных фаз не более 2%). Проверка работы переключающего устройства является обязательной после любого ремонта этого устройства или ремонта, связанного с расчленением привода переключающего устройства, и проводится согласно инструкции завода-изготовителя.

Испытания пробы масла из бака для измерения электрической прочности и сокращенного химического анализа, а также бака трансформатора на плотность избыточным давлением является обязательным после любого капитального ремонта.

Проверка состояния индикаторного силикагеля воздухоосушителя производится после текущего ремонта, а испытание трансформатора включением толчком на номинальное напряжение (3—5-кратное включение) — после любого капитального ремонта.

Рассмотрим подробнее некоторые виды испытаний.

Испытание электрической прочности изоляции. Эти испытания включают определение пробивного напряжения масла (или другого жидкого диэлектрика), которым заполнен трансформатор, измерение сопротивления изоляции обмоток, испытание внутренней изоляции напряжением промышленной частоты, приложенным от внешнего источника (в течение 1 мин), и испытание повышенным напряжением, индуктированным в самом трансформаторе.

Значения испытательных напряжений для обеспечения надежности и долговечности трансформатора превышают номинальные и зависят от условий эксплуатации. Трансформаторы, предназначенные для эксплуатации в электроустановках, подвергающихся воздействию грозовых перенапряжений при обычных мерах грозозащиты, испытываются по нормам для нормальной изоляции, а трансформаторы, предназначенные для эксплуатации в электроустановках, не подверженных воздействию грозовых перенапряжений, или при специальных мерах грозозащиты — по нормам для облегченной изоляции.

При испытании изоляции напряжением промышленной час-

тоты, приложенным от внешнего источника, проверяется электрическая прочность главной изоляции (каждой обмотки по отношению к другим обмоткам, включая отводы и выводы, а также по отношению к баку и другим заземленным частям трансформатора).

Испытывают поочередно изоляцию каждой обмотки. Испытания проводят по схеме рис. 12.7. При этом испытательное напряжение прикладывается между испытываемой обмоткой, замкнутой накоротко, и заземленным баком. Все остальные вводы

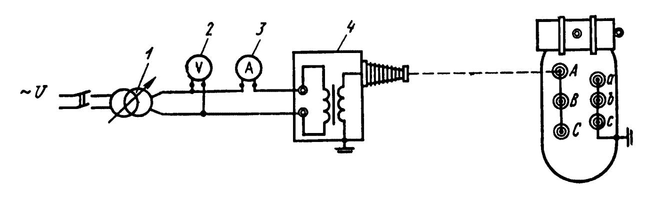


Рис. 12.7. Схема испытания изоляции обмотки ВН:
1 — регулировочный трансформатор; 2 — вольтметр; 3 — амперметр; 4 — повышающий трансформатор

других обмоток соединяют между собой и заземляют вместе с баком и магнитной системой. Напряжение к первичной обмотке повышающего трансформатора подводят от генератора переменного тока с регулируемым возбуждением или от регулировочного автотрансформатора. Испытательное напряжение поднимают плавно и выдерживают 1 мин.

Возрастание тока и снижение напряжения, фиксируемое приборами, обычно указывают на наличие дефекта в изоляции испытываемого трансформатора. Повреждение в испытываемом трансформаторе проявляется потрескиванием и разрядами.

Трансформатор считают выдержавшим испытания, если в процессе испытания не наблюдалось полного разряда (по звуку), разряда на защитном шаровом промежутке, выделения газа и дыма или изменения показания приборов.

Если при испытании отмечены разряды в баке, сопровождающиеся изменением режима в испытательной установке или появлением дыма, активная часть подлежит осмотру, а при необходимости разборке для выяснения и устранения причины разрядов или пробоя.

Продольная изоляция обмотки (изоляция между витками, катушками, слоями, фазами) испытывается повышенным напряжением, индуктированным в самом трансформаторе. Испытания проводят путем приложения к одной из обмоток двойного номинального напряжения этой обмотки при повышенной частоте (но не более 400 Гц). Повышение частоты необходимо

во избежание чрезмерного увеличения индукции и намагничивающего тока. Испытания проводят по схеме опыта холостого хода напряжением частоты не менее $2 f_{ном}$ и продолжительностью испытания 1 мин. (При более высоких частотах длительность уменьшается, но не должна быть менее 15 с).

Основным дефектом, который выявляется при таком испытании, является замыкание между витками или слоями обмотки, а также между отводами. Если имеются признаки дефекта, то важно до разборки трансформатора измерениями токов и напряжений по фазам установить дефектную фазу. Затем эта фаза подвергается тщательному осмотру. Дефектное место обмотки можно определить индукционным методом или измерением электрического сопротивления.

Индукционный метод для нахождения короткозамкнутого витка основан на наличии электромагнитного поля вокруг короткозамкнутого витка, созданного в нем индуктированным током короткого замыкания. Поле вокруг остальных витков отсутствует. Наличие и положение короткозамкнутого витка обнаруживают особой катушкой, называемой искателем, к которой подключен чувствительный прибор. Измерительный аппарат состоит из искателя и указателя. Искатель представляет собой многовитковую катушку, насаженную на магнитопровод,

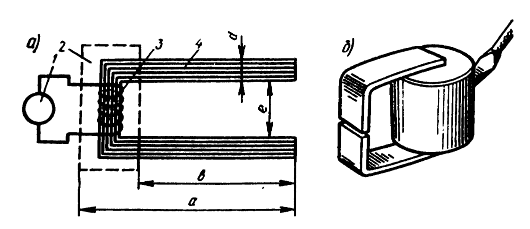


Рис. 12.8. Общий вид (*а*) и принципиальная схема (*б*) устройства для обнаружения короткозамкнутого витка:
1 — указательный прибор; *2* — защитный кожух; *3* — катушка; *4* — сердечник

состоящий из нескольких пластин электротехнической стали, и присоединенного к ней указательного прибора (рис. 12.8).

Напряжение в проверяемой обмотке индуктируется «питателем», который выполняется аналогично представленному на рис. 12.8, *а* искателю, или представляет собой длинный стержень с намотанными по всей длине витками. Обмотка питателя подключается к сети (36, 127 или 220 В). Если проверяемая обмотка насажена на стержень магнитной системы, возбуждение осуществляется обычным путем (при подаче небольшого напряжения, безопасного для персонала). Перемещая искатель

сначала вдоль обмотки, а затем в радиальном направлении, устанавливают место замыкания по наибольшему отклонению прибора.

Оценка состояния изоляции[1]. Для оценки состояния изоляции трансформатора после ремонта проводится ряд испытаний, по которым определяют коэффициент абсорбции, $\operatorname{tg}\delta$, C_2/C_{50}, $\Delta C/C$ изоляции обмоток, изоляционные характеристики масла и влагосодержание установленных внутри бака трансформатора образцов твердой изоляции.

Полученные результаты сравниваются с допустимыми значениями изоляционных характеристик (см. табл. 2.1) и позволяют выявить грубые дефекты в изоляции перед включением трансформатора под напряжение, возникшие, например, в результате местных загрязнений, увлажнения или повреждения изоляции.

Измерение сопротивления изоляции обмоток производится при температуре не ниже 10°С мегаомметром класса 1000 В в трансформаторах класса напряжения до 35 кВ мощностью до 16 МВ·А и класса 2500 В с пределами от 0 до 10 000 МОм — во всех остальных трансформаторах. За температуру изоляции в масляных трансформаторах принимают температуру масла в верхних слоях, в сухих — температуру окружающего воздуха..

Измеренное сопротивление изоляции необходимо сравнить со значением, измеренным для исследуемого трансформатора в заводских условиях; для неувлажненной изоляции $R_{60} \geqslant 0{,}7\,R_{60(зав)}$.

Другим показателем состояния увлажнения изоляции могут служить диэлектрические потери в изоляции. При этом, как правило, измеряют только $\operatorname{tg}\delta$ (в долях единицы или в процентах); измерение $\operatorname{tg}\delta$ производится с помощью емкостного моста при напряжении до 10 кВ.

Контрольные вопросы

1. Какая ремонтная документация должна вестись при ремонте трансформатора?
2. По каким критериям производится оценка состояния изоляции обмоток и отводов?
3. Какова последовательность работ при демонтаже активной части трансформатора?
4. Какие основные работы выполняют в процессе ремонта обмоток?
5. Как оценивается состояние магнитной системы?
6. Какие операции включает полный ремонт магнитной системы?
7. Какие параметры контролируются в процессе испытаний, выполняемых после ремонта трансформатора?

---

[1] Аналогичная оценка проводится также в процессе монтажа перед пуском и при эксплуатации.

РАЗДЕЛ III
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ РЕМОНТЕ

ГЛАВА 13
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

При капитальном ремонте электродвигателей с заменой обмотки задача чаще всего сводится к сохранению фирменных (старых) данных и параметров обмотки. Однако во избежание ошибок при ремонте желательно обмоточные данные поступающих в повторный ремонт электрических машин пересчитывать.

§ 13.1. Порядок поверочного расчета и расчет основных параметров

Поверочный расчет. Поскольку конструкции сердечников статора и ротора электрических машин при ремонте не изменяются, то расчет обмоточных данных, называемый поверочным, сводится к определению числа эффективных проводников и их сечения. В задачу поверочного расчета входит нахождение рациональных параметров обмоток, при которых удовлетворялись бы требования стандартов.

В практике ремонта поверочные расчеты выполняются при перемотке двигателя без изменения его параметров и наличии его обмоточных и паспортных данных; перемотке двигателя на другое напряжение при наличии его обмоточных и паспортных данных; перемотке двигателя с изменением частоты вращения и мощности для нахождения оптимальных параметров при новой частоте вращения, а также для определения параметров электрической машины, если неизвестны ее обмоточные и паспортные данные; замене медных проводов на алюминиевые и наоборот, а также изменении их размеров; применении более тонкой пазовой и проводниковой изоляции, изоляции с повышенной нагревостойкостью, повышении магнитных нагрузок и мощности. Принципы этих расчетов рассмотрены в гл. 14.

Перед началом расчета необходимо определить старые обмоточные данные машины и произвести обмер статора и ротора.

По старым обмоточным данным определяют (для асинхронных двигателей): схему соединения и тип обмотки; число кату-

шечных групп в фазе и их соединение (последовательное или параллельное), число катушек в катушечной группе для определения числа пазов на полюс и фазу q, число эффективных проводов в пазу $u_п$, число параллельных проводов в одном эффективном $n_{эл}$, число параллельных ветвей в обмотке a_1, размеры и марку провода, размеры вылета лобовых частей обмотки статора и ротора и расстояние от обмотки до подшипниковых щитов, шаг обмотки по пазам y.

Непосредственно измеряют[1]: внутренний диаметр расточки стали статора D_1 и ротора D_j, наружный диаметр активной стали статора D_a и ротора D_2, высоту спинки статора h_a и ротора h_j, высоту зубцов статора h_{z1} и ротора h_{z2}, полную высоту пазов статора и ротора, высоту пазов статора и ротора до клина, ширину паза статора (ротора) в широкой и узкой части, ширину зубца статора (ротора) в широкой и узкой части, ширину и высоту шлица, полную длину активной стали статора l_1 и ротора l_2, число пазов статора z_1 и ротора z_2, число и размеры вентиляционных каналов статора и ротора, воздушный зазор между статором и ротором δ.

На основании проведенных замеров определяются расчетным путем следующие величины:

расчетная длина активной стали статора

$$l_\delta = l_1 - k_1 n_{к1} b_{к1}, \tag{13.1}$$

где $n_{к1}$, $b_{к1}$ — число и ширина радиальных вентиляционных каналов статора; k_1 — коэффициент, учитывающий искривление силовых линий в воздушном зазоре и равный 0,73—0,67 при величине воздушного зазора $\delta = 1,5 \div 2,0$ мм; $k_1 = 1$ при $\delta \leqslant 1,5$ мм;

чистая длина активной стали статора (ротора)

$$l_{ст1(2)} = [l_{1(2)} - k_1 n_{к1(2)} b_{к1(2)}]\, k_с, \tag{13.2}$$

где $k_с$ — коэффициент заполнения, при толщине листов стали 0,5 мм $k_с = 0,95$ (лакировка листов) и 0,97 (оксидирование листов);

наружный диаметр статора и ротора (если их невозможно измерить непосредственно)

$$D_a = D_1 + 2h_a + 2h_{z1}, \quad D_2 = D_1 - 2\delta;$$

внутренний диаметр активной стали ротора

$$D_j = D_2 - 2h_{z2} - 2h_j;$$

зубцовое деление статора и ротора

$$t_1 = \frac{\pi D_1}{z_1}, \quad t_2 = \frac{\pi D_2}{z_2}. \tag{13.3}$$

[1] Все линейные величины — в метрах.

Далее по расчетным формулам для соответствующей формы пазов определяют максимальную, минимальную и среднюю ширину зубцов и пазов, после чего определяют расчетные сечения магнитной цепи — сечение воздушного зазора, спинки статора и ротора, зубцового слоя статора и ротора.

Расчет основных параметров. Расчет параметров начинается с определения числа эффективных витков фазы обмотки статора

$$w_1 = k_E U_1/(4{,}44 \cdot f \cdot k_{об1}\Phi), \qquad (13.4)$$

где U_1 — фазное напряжение, В; f — частота, Гц; Φ — магнитный поток, Вб; $k_{об\,1}$ — обмоточный коэффициент, равный 0,95—0,96 для однослойных обмоток и 0,91—0,92 — для двухслойных, $k_E = E_1/U_1 \approx 0{,}96 \div 0{,}98$.

Магнитный поток, в свою очередь, равен

$$\Phi = \alpha_\delta B_\delta \tau l_\delta \approx 1{,}1 D_1 l_\delta B_\delta / p, \qquad (13.5)$$

где p — число пар полюсов; B_δ — индукция в воздушном зазоре, Тл; α_δ — коэффициент полюсного перекрытия; τ — полюсное деление, м.

Подставляя (13.5) в формулу (13.4), получаем

$$w_1 = k_E p U_1/(4{,}9 f k_{об1} D_1 l_\delta B_\delta). \qquad (13.6)$$

Для обычных условий $k_E = 0{,}97$, $f = 50$ Гц, $k_{об\,1} = 0{,}95$.

Так как каждый виток располагается в двух пазах на расстоянии шага обмотки y, то, учитывая, что общее число эффективных витков в трехфазном двигателе равно $3a_1w_1$, а число пар пазов равно $z_1/2$, получим

$$w_1 = z_1 u_{п1}/(6a_1). \qquad (13.7)$$

Подставляя значение w_1 из (13.7) в (13.6), получим

$$u_{п1} = \frac{1{,}23 k_E p U_1 a_1}{f k_{об1} D_1 l_\delta B_\delta z_1}. \qquad (13.8)$$

Как видно из формулы (13.8), единственный неизвестный параметр — индукция в воздушном зазоре B_δ. Основным критерием правильного расчета обмотки следует считать величину тока холостого хода, который может быть замерен при включении двигателя в сеть после перемотки. Величина допустимого тока холостого хода берется по каталожным данным соответствующих двигателей.

Расчетные величины индукции в воздушном зазоре для низковольтных асинхронных двигателей серии 4А приведены в [7, 24], для серии А2 — в [16, 19]. Если индукцию в воздушном зазоре асинхронных двигателей серий А2 и 4А задать больше указанной в [17, 19], то двигатель будет нагреваться уже на холо-

стом ходу и не сможет длительно развивать номинальную мощность из-за недопустимо высокого нагрева. Кроме того, коэффициент мощности такого двигателя будет низким, что приведет к росту эксплуатационных затрат.

В то же время уменьшение индукции в воздушном зазоре по отношению к расчетной приводит к уменьшению перегрузочной способности двигателя и уменьшению устойчивости его работы. Для сохранения перегрузочной способности в этом случае придется занижать мощность двигателя в номинальном режиме. Иными словами, в этом случае двигатель будет недоиспользован (в соответствии со стандартами перегрузочная способность должна быть не менее 1,8—2,1).

Таким образом, существует довольно узкая зона допустимых значений индукции в воздушном зазоре, при которой двигатель имеет приемлемые значения перегрузочной способности, тока холостого хода и использования активной стали. При этом значении индукции B_δ число эффективных проводников в пазу определяется однозначно по уравнению (13.8).

Если величина индукции в воздушном зазоре неизвестна, то расчет числа эффективных витков усложняется. Величина B_δ изменяется в широких пределах, но в то же время ток холостого хода должен иметь вполне определенную величину. Последнее требование приводит к необходимости проведения предварительных расчетов магнитной цепи двигателя с целью определения приемлемого значения B_δ. Правильность выбора индукции подтверждается сравнением токов намагничивания (расчетного и каталожного).

§ 13.2. Электромагнитный расчет

Расчет магнитной цепи. Расчет проводится в такой последовательности: задаются значением индукции в воздушном зазоре, определяют число эффективных витков w_1 по формулам (13.6)—(13.8), рассчитывают значение индукции в зубцах и ярмах статора и ротора, рассчитывают магнитное напряжение отдельных участков магнитной цепи и суммарное магнитное напряжение магнитной цепи машины (на пару полюсов), рассчитывают значение намагничивающего тока I_μ в абсолютных и относительных единицах.

Расчет магнитной цепи повторяют 3—4 раза для ряда значений B_δ и строят зависимость $i_\mu = f(B_\delta)$. Приняв в качестве верхнего предела каталожное значение намагничивающего тока, находят по построенной зависимости требуемую величину B_δ. Эти расчеты легко формализуются и могут проводиться на ЭВМ с использованием стандартных программ.

Расчет электрических нагрузок. Электрические нагрузки машины (плотность тока Δ и линейная нагрузка A) определяют нагрев обмотки. Допустимая плотность тока не является постоянной величиной, а зависит от исполнения машины, типа охлаждения, частоты вращения, номинального напряжения и линейной нагрузки. Чем больше номинальное напряжение, тем толще должна быть изоляция (пазовая и витковая) и тем хуже отвод тепла, выделяющегося в обмотке. При неизменном температурном индексе изоляции плотность тока с ростом напряжения в обмотке должна быть уменьшена.

С другой стороны, увеличение частоты вращения улучшает вентиляцию машины и плотность тока в быстроходных машинах может быть больше, чем в тихоходных. Допустимая плотность тока для асинхронных двигателей приведена в [7, 19].

Однако судить о нагреве обмотки только по плотности тока неправомерно. Нагрев обмотки определяется не только удельными потерями в меди на единицу массы, которые зависят от плотности тока, но и поверхностью охлаждения. При равных объемах тока в пазу двигатель с бо́льшим числом пазов имеет худшие условия охлаждения, чем двигатель с меньшим числом пазов. Кроме того, при равных плотностях тока в худших условиях будет находиться двигатель, имеющий пазы большего размера (при равном числе пазов). Поэтому для проверки теплового состояния обмотки необходимо знать еще и линейную нагрузку двигателя A, которая численно равна МДС обмотки статора на единицу длины окружности статора:

$$A_1 = \frac{3 q_1 I_{1н} u_{п1}}{a_1 \tau_1}, \tag{13.9}$$

где $I_{1н}$ — номинальный ток статора, А.

Рекомендуемые значения линейной нагрузки в асинхронных двигателях приведены в [7, 16, 19, 24], причем с ростом D_a и τ линейная нагрузка возрастает.

Нагрев пазовой части обмотки зависит от произведения линейной нагрузки на плотность тока. Поэтому в ряде случаев выбор плотности тока осуществляют с учетом линейной нагрузки (иными словами, в качестве независимых величин выступают произведение $A \cdot \Delta$ и линейная нагрузка). В этом случае расчетная плотность тока определяется по формуле $\Delta = A \cdot \Delta / A$. Значения произведения $A \cdot \Delta$ для асинхронных двигателей серии 4А приведены в [7, 24].

Таким образом, зная величины плотности тока Δ_1 и линейной нагрузки по формуле (13.10), можно определить число эффективных проводов в пазу $u_{п1}$ и их сечение $q_{эф} = I_{1н}/(a_1 \Delta_1)$. Иными словами, задача сводится к определению числа элемен-

тарных проводников в одном эффективном. Сечение эффективного витка, рассчитанное через размер паза,

$$q_{эф}=k_{м}\frac{S_{п.св}}{u_{п1}}, \qquad (13.10)$$

где $k_м$ — коэффициент заполнения паза медью, $S_{п.св}$ — площадь паза в свету, мм^2.

Из формулы (13.10) видно, что сечение эффективного проводника зависит при прочих равных условиях только от коэффициента заполнения паза, поскольку площадь паза в свету задана (определяется его геометрией), так же как и число эффективных проводников (определяется магнитными нагрузками). Чем больше коэффициент заполнения, тем больше сечение эффективного проводника и, значит, мощность машины.

Плотность укладки проводников в пазы оценивается технологическим коэффициентом заполнения проводниками свободной от изоляции площади паза:

$$k_з=\frac{d^2_{из}n_{эл}u_{п1}}{S'_п}, \qquad (13.11)$$

где $d_{из}$ — диаметр изолированного элементарного проводника, мм; $S_п'=S_{п.св}-S_{из}$ — свободная площадь паза, мм^2 ($S_{из}$ — площадь, занимаемая изоляцией, мм^2), и характеризует только технологичность укладки обмотки из круглого провода, а не степень использования всего пространства паза. В современном электромашиностроении плотность укладки всыпной обмотки стремятся выполнить такой, чтобы $k_з$ был в пределах 0,70—0,75 (ручная укладка). Для современных изоляционных материалов коэффициент заполнения паза медью $k_м$ составляет 0,33—0,36 для эмалированных проводов и 0,28—0,30 — для проводов с волокнистой и двойной изоляцией.

Для обмотки из прямоугольного провода на напряжение 3000 В $k_з=0{,}7\div0{,}8$, $k_м=0{,}22\div0{,}37$, для напряжения 6000 В — $k_з=0{,}6\div0{,}7$, $k_м=0{,}14\div0{,}25$. Меньшие значения коэффициентов заполнения относятся к машинам меньшей мощности.

Определение номинальной мощности двигателя. Если поступивший в ремонт двигатель не имеет паспортной таблички или проходит перемотку с изменением частоты вращения, то его мощность можно определить лишь приблизительно. Окончательное значение мощности можно установить после тепловых испытаний.

Полная (кажущаяся) мощность, кВ·А, определяется по формуле

$$S=3U_ф I_ф\cdot10^{-3}, \qquad (13.12)$$

где $U_ф$, $I_ф$ — номинальные фазные напряжение, В, и ток, А.

Полезная мощность, кВт, равна

$$P_2 = 3U_ф I_ф \eta \cos\varphi \cdot 10^{-3}, \qquad (13.13)$$

где η, $\cos\varphi$ — КПД и коэффициент мощности машины соответственно.

Ориентировочно значения энергетических показателей асинхронных двигателей приведены в [7, 19].

§ 13.3. Методика поверочных расчетов асинхронных двигателей с обмотками из круглого провода

Рассмотрим различные случаи поверочных расчетов асинхронных двигателей.

Поверочный расчет при известной индукции в воздушном зазоре. В этом случае известны паспортные данные машины (номинальная мощность, ток, напряжение, скорость), геометрия зубцового слоя статора и ротора, диаметры и длина магнитопровода, а также размеры охлаждающих каналов.

По формулам (13.1) и (13.6) определяют расчетную длину активной стали l_δ и число эффективных витков обмотки статора w_1. По формуле (13.7) или (13.8) определяют число эффективных проводников в пазу $u_{п1}$ (с округлением до ближайшего целого, желательно четного). Исходя из коэффициента заполнения паза $k_м$, по формуле (13.10) вычисляют сечение эффективного витка $q_{эф}$. Зная число элементарных проводов в одном эффективном $n_{эл}$, определяют сечение элементарного проводника $q_{эл} = q_{эф}/n_{эл}$. По сортаменту обмоточного провода и его марке подбирают провод, сечение которого близко к $q_{эл}$, и записывают его размеры $d/d_{из}$ (диаметры голого и изолированного провода). Проверяют, совпадают ли значения $u_{п1}$ и $d/d_{из}$ с известными для данной машины. Если получают близкое совпадение, то расчет этим ограничивается.

Поверочный расчет при неизвестной индукции в воздушном зазоре. В этом случае известны исходные данные для предыдущего расчета, а также количество элементарных проводников в пазу и в одном эффективном, число параллельных ветвей обмотки, диаметр обмоточного провода. Последовательность расчета следующая.

По формуле (13.1) определяют расчетную длину сердечника l_δ, а по формуле (13.2) — его чистую длину $l_{ст\,1}$. Определяют зубцовое деление статора t_1 и ротора t_2 по формулам (13.3), а также расчетную высоту ярма статора (по методике [7, 19]), среднюю длину силовой линии в ярме статора L_a, коэффициент воздушного зазора k_δ, число эффективных проводов в пазу $u_{п1}$ по известному числу элементарных проводов в пазу $u_{п1\,эл}$ и чис-

лу элементарных проводов в одном эффективном $u_{п1}=u_{п1\,эл}/n_{эл}$. По формуле (13.8) находят значение индукции в воздушном зазоре B_δ (остальные величины, входящие в эту формулу, известны).

Определяют индукцию в отдельных участках магнитной цепи двигателя и рассчитывают намагничивающий ток в соответствии с рекомендациями § 13.2. На этом этапе расчета можно считать, что падение магнитного напряжения в ярме и зубцах ротора (F_j+F_{z2}) составляет примерно 0,9 от падения магнитного напряжения в ярме и зубцах статора (F_a+F_{z1}), и не рассчитывать подробно магнитную цепь ротора. Кроме того, при расчете намагничивающего тока обмоточный коэффициент $k_{об\,1}$, если он неизвестен, можно принять равным 0,92.

Сравнивают намагничивающий ток с его каталожным значением. Если значения этих токов близки, расчет прекращается. Если расчетный ток существенно отличается от каталожного, то продолжают расчет магнитной цепи, изменяя индукцию в воздушном зазоре. Если расчетный ток меньше (больше) каталожного, то увеличивают (уменьшают) индукцию B_δ и повторяют расчет, предварительно определив по формуле (13.8) число эффективных проводов в пазу, соответствующее новому значению индукции B_δ.

Расчет магнитной цепи продолжается до тех пор, пока не получат близкого совпадения расчетного и каталожного намагничивающего тока.

Определяют новое сечение обмоточного провода

$$q_{эл.нов}=q_{эл.ст}\frac{u_{п.ст}}{u_{п.нов}}$$

и подбирают по нему ближайший стандартный, записывая его параметры (диаметры и сечение).

По полученному сечению эффективного витка $(q_{эл.нов}\cdot n_{эл})$ определяют плотность тока — $\Delta_1=I_{1\,ном}/(a_1 q_{эф})$, вычисляют по формуле (13.9) линейную нагрузку, а затем коэффициент пропорциональности перегрева $A_1\cdot\Delta_1$.

По формулам (13.11), (13.12) проверяют коэффициенты заполнения паза $k_м$ и $k_з$. Если $k_з\leqslant 0{,}72\div 0{,}74$, расчет считается законченным. Если площадь паза за вычетом площади изоляции $S_п'$ неизвестна, то ограничиваются проверкой коэффициента $k_м$, так как при известной геометрии паза его площадь в свету $S_{п.св}$ нетрудно определить. Рекомендуемые значения $k_м$ приведены в § 13.2.

Поверочный расчет при отсутствии обмоточных и паспортных данных. В этом случае расчет существенно усложняется, поскольку правильность расчета индукции в воздушном зазоре можно окончательно установить лишь после испытаний двигателя на холостом ходу. Для восстановления обмоточных и пас-

портных данных необходимо перед началом расчета определить исполнение двигателя (способ охлаждения и защиты от воздействия окружающей среды), тип изоляции листов сердечника магнитопровода, марку стали (или ее магнитные характеристики) и все размеры сердечника. Кроме того, должны быть заданы рабочее (номинальное) напряжение, частота питающей сети и частота вращения.

Как видно из предыдущего варианта расчета, если величина тока холостого хода отличается от каталожной, то необходимо варьировать величинами B_δ и числами витков обмотки (с соответствующим изменением их сечения). Для ограничения вариантов расчета можно рекомендовать графоаналитический метод определения оптимального значения индукции B_δ, состоящий в следующем (рис. 13.1).

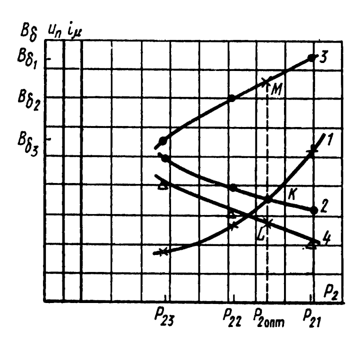


Рис. 13.1. Графики для расчета оптимального значения индукции асинхронного двигателя при отсутствии его паспортных и обмоточных данных

Задаются тремя различными значениями индукции в воздушном зазоре $B_{\delta 1}$, $B_{\delta 2}$, $B_{\delta 3}$. Причем $B_{\delta 1}$, $B_{\delta 3}$ — граничные значения индукции согласно данным [7, 19], а $B_{\delta 2}$ — ее среднее значение. По формуле (13.8) определяют соответствующее этим индукциям количество эффективных проводников в пазу $u_{п1}$, $u_{п2}$, $u_{п3}$, не проводя их округления. Число параллельных ветвей a_1 принимают равным единице. По формуле (13.7) определяют число витков фазы w_1, также не проводя его округления до целого. Проводят расчет магнитной цепи (см. § 13.3) для трех выбранных значений индукции в воздушном зазоре, определяя три значения намагничивающего тока I_μ. Вычисляют сечение эффективного провода $q_{эф}$ по формуле (13.10). Задаваясь средней плотностью тока Δ_1 по [7, 19], определяют номинальный ток $I_{1н}=$ $=\Delta_1 \cdot q_{эф}$, а затем относительное значение намагничивающего тока i_μ (в %). Задаются средними значениями энергетических показателей и по формуле (13.13) определяют мощность P_2. Как отмечалось, эти расчеты проводятся для трех значений B_δ. В результате получаем зависимость $B_\delta \to i_\mu \to P_2$, на основании которой строится кривая $1 — i_\mu = f(P_2)$ (см. рис. 13.1). Для трех полученных значений мощности P_2 и известной частоты вращения по [7, 16, 19, 24] находят предельные значения намагничивающего тока и строят зависимость $i_{\mu пр} = f(P_2)$ — кривая *2*.

Точка K пересечения кривых *1* и *2* определяет мощность $P_{2\,опт}$, при которой удовлетворяется значение допустимого и намагничивающего тока, т. е. магнитные нагрузки двигателя находятся в заданных пределах.

Построив зависимости $B_\delta = f(P_2)$ и $u_п = f(P_2)$ (кривые *3*, *4* на рис. 13.1), для полученного значения $P_{2\,опт}$ определяют оптимальное значение индукции $B_{\delta\,опт}$ (точка M) и соответствующее ей число эффективных проводников $u_{п.опт}$ (точка L). Для получения равносекционной двухслойной обмотки $u_п$ должно быть четным числом, однослойной — целым. Так как было принято, что $a_1 = 1$, то $u_п$ округляют до требуемого значения (можно также идти по пути увеличения a_1).

Еще раз по формуле (13.10) определяют сечение эффективного проводника при новом значении $u_п$. В случае необходимости этот эффективный проводник разбивают на несколько элементарных (по технологическим соображениям диаметр изолированного провода не должен превышать 1,6—1,8 мм). Окончательно определяют размеры провода ($d/d_{из}$) и $n_{эл}$.

По формуле (13.11) проверяют величину коэффициента заполнения $k_з$ (конструкция пазовой изоляции либо известна, либо ей следует задаться).

Определяют номинальный ток по формуле $I_{1н} = \Delta q_{эф} a_1$ и полезную мощность P_2. На этом расчет заканчивается.

В ряде случаев дополнительно проводится построение схемы обмотки и уточняется обмоточный коэффициент $k_{об\,1}$.

§ 13.4. Пересчет асинхронных двигателей на другое напряжение, частоту вращения и частоту питания

Пересчет обмотки статора на другое напряжение без изменения основных характеристик двигателя возможен, если класс напряжения не изменяется (двигатели с напряжением до 600—690 В), либо если пересчет ведется на более низкое напряжение. В этих случаях не увеличивается площадь изоляции в пазу и удается сохранить электромагнитные нагрузки машины, ее номинальную мощность и энергетические показатели без изменений.

Изменение частоты вращения асинхронных двигателей связано с изменением числа пар полюсов. При увеличении частоты вращения следует проверять механическую прочность ротора и индукцию в ярме статора. При снижении частоты вращения внимание следует уделять вопросам нагрева обмотки статора из-за ухудшения условий охлаждения, поскольку площадь охлаждения и вентилятор остаются без изменений.

При изменении частоты питающего напряжения следует проверять механическую прочность ротора в случае увеличения

частоты, индукцию в ярме статора и нагрев — в случае уменьшения частоты.

Пересчет обмотки статора на другое напряжение. Для сохранения рабочих свойств двигателя необходимо, чтобы магнитный поток (или индукция в воздушном зазоре), а также линейная нагрузка (или объем тока в пазу) оставались без изменений.

Из условия постоянства магнитного потока следует, что

$$u_{п.ст}/u_{п.нов}=U_{ст}/U_{нов} \text{ откуда } u_{п.нов}=(u_{п.ст}U_{нов})/U_{ст}, \quad (13.14)$$

где $u_{п.ст}$, $u_{п.нов}$ — старое и новое число эффективных проводников в пазу; $U_{ст}$, $U_{нов}$ — старое и новое значения фазного напряжения обмотки статора.

Из условия постоянства линейной нагрузки следует, что

$$u_{п.ст}q_{ст}=u_{п.нов}q_{нов}, \text{ откуда } q_{нов}=q_{ст}u_{п.ст}/u_{п.нов} \quad (13.15)$$

где $q_{ст}$, $q_{нов}$ — старое и новое сечения эффективного проводника.

Таким образом, пересчет сводится к определению нового числа эффективных проводов в пазу и их сечения по (13.14), (13.15). Полученное значение $u_п$ следует округлить в соответствии с рекомендациями § 13.3, сечение $q_{нов}$ — в соответствии с сортаментом провода. Округленные значения $u_п$ и q не должны отличаться от рассчитанных более чем на 5%.

Пересчет двигателя на другую частоту вращения. Пересчет двигателя на другую скорость путем изменения числа пар полюсов при неизменном напряжении сети, схеме соединения обмотки статора, частоте питающей сети и индукции в воздушном зазоре связан с изменением магнитного потока [см. формулу (13.5)].

Мощность двигателя при заданных размерах магнитопровода и неизменном обмоточном коэффициенте можно определить по формуле

$$P_2=knAB_\delta, \quad (13.16)$$

где A, B_δ — линейная нагрузка и индукция в воздушном зазоре; n — частота вращения; k — коэффициент пропорциональности, характерный для данной машины.

Тогда при изменении частоты вращения получается

$$P_{2нов}=P_{2ст}\frac{n_{нов}A_{нов}B_{\delta нов}}{n_{ст}A_{ст}B_{\delta ст}} \quad (13.17)$$

Из формулы (13.17) вытекает, что при неизменных электромагнитных нагрузках мощность двигателя изменяется пропорционально изменению частоты вращения. Однако с ростом частоты вращения увеличиваются полюсное деление и

магнитный поток на полюс, что может привести к чрезмерному росту индукции в ярмах статора и ротора, поскольку магнитная система машины остается неизменной. Поэтому часто необходимо уменьшать индукцию в воздушном зазоре, чтобы сохранить на приемлемом уровне индукцию в ярмах, которая рассчитывается по формуле

$$B_{a(j)} = \frac{\Phi}{2h_{(aj)}l_{\text{ст}1(2)}}. \tag{13.18}$$

Индукция в зубцах определяется отношением ширины зубца к зубцовому делению и при неизменной B_δ остается без изменений.

Предельные индукции в ярме статора составляют 1,4—1,6 Тл (см. [7, 19]), что примерно в два раза больше индукции в воздушном зазоре B_δ, т. е. $B_a \approx 2{,}0\,B_\delta$. Кроме того, для асинхронных двигателей без радиальных каналов длину активной стали можно принять равной расчетной длине машины. Тогда из формул (13.5) и (13.18) находим минимальное число полюсов

$$p \approx 0{,}25 D_1/h_a, \tag{13.19}$$

где D_1 — внутренний диаметр статора, м; h_a — высота ярма статора, м.

Полученное значение p следует округлить до ближайшего большего целого и проверить, удовлетворяет ли оно требуемой частоте вращения при сохранении неизменных электромагнитных нагрузок. Если требуемая частота вращения не удовлетворяется, то пересчет на требуемую частоту вращения должен проводиться при уменьшенных значениях B_δ, а следовательно, и индукции в зубцах. В этом случае мощность двигателя будет расти в меньшей степени, чем частота вращения.

Вторая проверка, которую следует производить при пересчете на более высокую частоту вращения, — проверка механической прочности ротора. Так как механические усилия в роторе пропорциональны его окружной скорости, то проверка ведется по этому последнему показателю без проведения подробных механических расчетов. Окружная скорость ротора не должна превышать 30—40 м/с для ротора с фазной обмоткой и 40—60 м/с — для ротора с литой обмоткой.

Если пересчет ведется *на более низкую частоту вращения*, то отпадает необходимость в этих проверках, поскольку механические усилия в роторе и индукция в ярме при этом будут уменьшаться. Если зубцы статора и ротора имели недостаточную магнитную нагрузку ($B_{z1(2)} < B_{z\,\text{доп}}$), то можно увеличивать индукцию в воздушном зазоре, доводя индукцию в зубцах до предельных значений. В этом случае мощ-

ность двигателя будет уменьшаться в меньшей мере, чем частота вращения. На этом этапе расчета линейную нагрузку оставляют без изменения.

При пересчете должны быть известны паспортные данные старого двигателя (номинальные напряжение, ток, мощность и частота вращения), геометрические размеры его сердечника и зубцового слоя, его обмоточные данные и размеры провода. Порядок пересчета следующий.

В случае пересчета на более высокую скорость проводят проверку механической прочности ротора. При этом в случае положительного решения проворяют возможность сохранения неизменной индукции в воздушном зазоре по формуле (13.19). Определяют сечения отдельных участков магнитной цепи и значения индукции в этих участках (B_δ, $B_{z1(2)}$, $B_{a(j)}$), соответствующие старой машине. Определяют электрические нагрузки старой машины (Δ, A, ΔA). Проводят корректировку индукции в воздушном зазоре по допустимой индукции в ярме (повышение скорости) или в зубцах (снижение скорости) в соответствии с рекомендациями [7, 19]. Полагая неизменным фазное напряжение и частоту питающей сети, число параллельных ветвей обмотки статора и коэффициенты k_E, $k_{об\,1}$, определяют новое число эффективных проводников в пазу. Из формулы (13.8) следует

$$u_{п.нов} = u_{п.ст} \frac{p_{нов} B_{\delta ст}}{p_{ст} B_{\delta нов}}. \qquad (13.20)$$

Далее определяют новое сечение эффективного проводника по формуле (13.15), подбирают необходимое число элементарных проводников и их размеры, а также новое число параллельных ветвей обмотки, если это необходимо. Полагая неизменной плотность тока, находят новое значение линейной нагрузки

$$A_{нов} = A_{ст} \frac{q_{эф.нов} u_{п.нов}}{q_{эф.ст} u_{п.ст}}. \qquad (13.21)$$

Определяют новую мощность двигателя по формуле (13.17) и ток при неизменных энергетических показателях

$$I_{ф.нов} = I_{ф.ст} P_{2нов} / P_{2ст}. \qquad (13.22)$$

В случае пересчета на более высокую скорость условия охлаждения улучшаются и тепловой расчет можно не выполнять. При переходе на меньшую скорость охлаждение обычно ухудшается, что требует проведения теплового расчета для обоснования принятых электромагнитных нагрузок.

Пересчет двигателя на другую частоту питания. Как правило, пересчеты осуществляются с 50 на 60 Гц или с 60 на 50 Гц.

В обоих случаях изменение индукции и частоты вращения при неизменном напряжении и числе эффективных проводников составляет около 20%. При пересчете двигателя с 50 на 60 Гц не требуется проверка механической прочности ротора, так как он обладает достаточно большим запасом прочности.

Изменение частоты питающего напряжения приводит к изменению магнитного потока и индукции в отдельных участках магнитопровода. Поэтому при указанных пересчетах стремятся сохранить неизменной индукцию в воздушном зазоре (за счет изменения числа эффективных проводников $u_п$), чтобы сохранить требуемую перегрузочную способность двигателя.

Поэтому ход пересчета при неизменном напряжении питания следующий.

Определяют новое значение числа эффективных проводов в пазу. При неизменном магнитном потоке

$$w_{1ст}f_{ст}=w_{1нов}f_{нов}=u_{п.ст}f_{ст}=u_{п.нов}f_{нов}$$

или

$$u_{п.нов}=u_{п.ст}f_{ст}/f_{нов}. \qquad (13.23)$$

Округляют $u_{п.нов}$ до ближайшего целого и уточняют значение индукции в воздушном зазоре $B_{\delta\,нов}$. Определяют сечение эффективных (или элементарных) проводников по формуле (13.15) и проводят выбор нормированного провода. По формуле (13.21) определяют новое значение линейной нагрузки, по формуле (13.17) — новую мощность, по формуле (13.22) — ток. При расчетах полагают, что $n_{нов}/n_{ст}=f_{нов}/f_{ст}$.

Если хотят оставить электрическую мощность неизменной, то уменьшают расчетные электрические нагрузки при переходе на бóльшую частоту питания. При переходе на меньшую частоту питания ограничителем электрических нагрузок (A, $\Delta A\Delta$) является допустимый перегрев обмоток, так как охлаждение двигателя ухудшается.

Контрольные вопросы

1. Какой расчет называется поверочным?
2. Какую информацию, необходимую для поверочного расчета, можно получить со старой, подлежащей ремонту машины?
3. Чем определяется диапазон значений индукции в воздушном зазоре?
4. Чем вызвано использование при расчетах двух коэффициентов заполнения паза $k_м$ и $k_з$?
5. Как определить индукцию в воздушном зазоре графоаналитическим методом?
6. Каков порядок пересчета асинхронного двигателя на другое напряжение? Изменяется ли при этом его номинальная мощность?
7. Почему изменяется номинальная мощность двигателя при изменении его полюсности?
8. Каков порядок пересчета двигателя на более высокую (низкую) частоту вращения?
9. Почему при пересчете на более низкую частоту вращения следует уменьшать электрические нагрузки двигателя?

ГЛАВА 14
МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Под модернизацией понимается устранение морального износа электрических машин путем доведения технико-экономических показателей электрических машин, находящихся в эксплуатации, до уровня показателей новых электрических машин. Как правило, модернизации подлежат крупные электрические машины, поскольку для машин малой и средней мощности это экономически нецелесообразно.

§ 14.1. Основные направления модернизации

Модернизация крупных электрических машин осуществляется во время капитального ремонта путем применения современных технических решений по электротехническим и изоляционным материалам, системам охлаждения и конструкции отдельных узлов. Так как крупные электрические машины эксплуатируются в течение 20—30 лет, то их модернизация позволяет получить значительный технико-экономический эффект.

В результате модернизации электрических машин решаются обычно следующие задачи: повышение мощности, коэффициента полезного действия, уровня надежности, технологичности и ремонтоспособности, а также снижение эксплуатационных затрат.

Для решения вопроса об экономической целесообразности модернизации проводят технико-экономические расчеты, основанные на статистических данных о повреждаемости электрических машин и причиненном при этом ущербе. Только при наличии таких статистических данных технико-экономические расчеты будут обоснованными. Поэтому сбор, хранение и обработка такой информации являются важной задачей ремонтных и эксплуатационных организаций.

Повышение мощности крупных электрических машин. Повышение единичной мощности генераторов позволяет с минимальными затратами увеличить установленную мощность электростанции. Этот путь существенно дешевле строительства новых блоков. Так, модернизация гидрогенераторов Братской ГЭС позволила увеличить их единичную мощность и мощность всей станции на 11%, или на 25 и 400 МВт соответственно, на Новосибирской ГЭС — на 13,75%. После модернизации ряда тепловых электростанций Урала, Центра и Юга мощность этих ТЭС была увеличена на 640 МВт при капитальных затратах около 6,5 млн. руб. Строительство новых блоков мощностью 600 МВт обошлось бы в 50 млн. руб. и заняло не менее трех лет. По имеющимся в литературе сведениям путем модернизации только гидроэлектростанций можно увеличить мощность действующих ГЭС на 5,5—6,0 млн. кВт.

При решении вопроса о увеличении мощности генераторов следует помнить о необходимости роста мощности приводного двигателя (турбины) и сопряженных с ним систем, а также проверить способность электрической части станции (система шин, трансформатор, система защиты и др.) к работе с увеличенной мощностью. В случае необходимости следует модернизировать или заменить это оборудование. Одновременно следует проверить соответствие перегрузочной способности модернизированного генератора требованиям соответствующих стандартов.

Повышение единичной мощности электрических двигателей приводит к росту производительности приводимых механизмов, которые следует проверить на возможность работы при увеличенной мощности или производительности. Необходимо проверить соответствие перегрузочной способности модернизированного двигателя требованиям стандартов.

Повышение коэффициента полезного действия. При неизменной или увеличенной мощности увеличение КПД достигается за счет снижения удельных потерь в машине. Магнитные потери снижаются благодаря использованию улучшенных сортов электротехнической стали, электрические — за счет увеличения сечения эффективного проводника (что возможно при применении более тонкой изоляции) и снижения рабочей температуры обмоток (применение более эффективного охлаждения), механические и вентиляционные потери — благодаря применению более рациональной конструкции опорных узлов, минимизации расхода охлаждающего газа и др.

При увеличении КПД снижаются эксплуатационные затраты (стоимость энергии потерь), уменьшается рабочая температура отдельных узлов электрической машины, что может привести к повышению надежности машины в целом и увеличению межремонтного периода.

Повышение уровня надежности. Повышение уровня надежности достигается применением современных технических решений по креплению обмоток и прессовке активной стали, по подшипниковым узлам и узлам токосъема, современных изоляционных конструкций и снижением рабочих температур за счет улучшения охлаждения.

Снижение эксплуатационных затрат. Снижение затрат достигается уменьшением потерь (увеличение КПД), увеличением межремонтного периода благодаря уменьшению физического износа отдельных узлов и деталей после модернизации и уменьшением количества обслуживающего персонала за счет увеличения степени автоматизации режимов работы.

Повышение технологичности и ремонтоспособности. Это достигается благодаря применению в процессе модернизации современных технических решений по соединению отдельных уз-

лов и деталей. Это мероприятие позволяет уменьшить сроки и стоимость следующих за модернизацией ремонтов электрических машин.

§ 14.2. Модернизация обмоток из прямоугольного провода

При модернизации обмоток стремятся улучшить изоляцию катушек (стержней) и изменить геометрию лобовых частей для уменьшения их длины и улучшения охлаждения.

В настоящее время преимущественное распространение получила термореактивная изоляция типа «Слюдотерм», «Монолит», ВЭС и ее модификации, разработанная ведущими электромашиностроительными заводами «Электросила», «Электротяжмаш», «Сибэлектротяжмаш». Эта изоляция имеет существенно лучшие свойства, чем применявшаяся до 70-х годов микалентная компаундированная изоляция (табл. 14.1). Замена

Таблица 14.1

Характеристика изоляции	Тип изоляции	
	миканитовая	термореактивная
Допустимая рабочая температура, °С	105	130
Электрическая прочность, кВ/мм	14—17	28—34
$\operatorname{tg}\delta$ при 20°С	0,01—0,02	0,01
$\operatorname{tg}\delta$ при 120°С	0,15—0,25	0,06
Коэффициент теплопроводности, Вт/(см·°С)	0,0016	0,0022

микалентной изоляции на термореактивную позволяет примерно на 30% уменьшить ее толщину при одновременном уменьшении перепада температуры в ней без ухудшения надежности изоляционной конструкции.

Уменьшение объема изоляции при неизменных размерах паза якоря позволяет увеличить сечение эффективного проводника, причем чем выше класс напряжения (толще изоляция), тем больше выигрыш. Таким образом, при неизменной плотности тока можно увеличить номинальный ток и мощность машины без увеличения рабочей температуры. При неизменном токе и мощности снижаются плотность тока в обмотке, электрические потери и рабочая температура, что повышает надежность обмотки.

В ряде случаев дополнительное место в пазу может быть использовано для размещения полых трубок при переводе обмотки якоря на водяное охлаждение.

Одновременно с улучшением изоляционной конструкции улучшают транспозицию стержней, доводя угол транспозиции

до 540° с целью уменьшения потерь от циркуляционных токов, особенно в зоне лобовых частей.

Как показала многолетняя практика эксплуатации, надежность крепления обмотки с учетом возрастающих электромагнитных нагрузок и связанных с ними электродинамических усилий является одним из основных факторов, влияющих на долговечность электрической машины в целом. Поэтому при модернизации усиливают крепление пазовой части обмотки, особенно в месте выхода ее из паза, и крепление лобовых частей обмотки путем применения термореактивных уплотнений (формопласты типа препрег), синтетических самоутягивающихся бандажей, стеклобандажных поясов и др. [22]. В лобовых частях обмоток с косвенным охлаждением могут формироваться дополнительные каналы для прохода охлаждающего газа с целью улучшения охлаждения лобовых частей обмотки.

Повышение мощности синхронных машин невозможно только за счет модернизации якорной обмотки. Одновременно необходимо модернизировать и обмотку возбуждения с целью увеличения ее номинальной МДС. Только в этом случае удается сохранить исходный коэффициент мощности в режиме перевозбуждения или даже уменьшить его. Возможны следующие варианты модернизации:

переход от косвенного охлаждения к форсированному за счет изменения геометрии обмотки и создания дополнительных каналов для охлаждающего газа по высоте обмотки и в ободе явнополюсных машин, в лобовых частях (подбандажное пространство) неявнополюсных машин;

переход на непосредственное водородное охлаждение обмоток возбуждения неявнополюсных синхронных машин с соответствующим изменением геометрии обмотки (фрезеровка охлаждающих каналов, замена пазовых клиньев);

увеличение числа витков обмотки за счет применения более тонкой пазовой изоляции.

§ 14.3. Модернизация системы вентиляции и узла токосъема

Модернизация системы вентиляции. Модернизация определяется опытом эксплуатации каждой машины и не имеет унифицированных технических решений и, как правило, проводится путем увеличения давления или расхода охлаждающего газа.

У турбогенераторов с косвенным охлаждением с ростом давления водорода температурный перепад на разделах «поверхность — водород» снижается приблизительно пропорционально росту давления, в меньшей мере снижается перегрев самого водорода. В итоге снижается рабочая температура обмоток. При

увеличении давления необходимо усилить уплотнения вала и другие узлы, обеспечивающие герметичность корпуса (включая сварные соединения).

Кроме увеличения давления используют форсировку охлаждения лобовых частей обмотки возбуждения за счет усовершенствования каналов выпуска водорода из подбандажного пространства. Это позволяет увеличить расход газа через лобовые части и тем самым уменьшить их температуру. Кардинальным решением вопроса является указанный в § 14.2 перевод обмотки возбуждения на непосредственное газовое охлаждение.

Увеличение расхода охлаждающего газа приводит к тому же эффекту, что и увеличение его давления. Однако с точки зрения вентиляционных потерь повышение расхода газа часто более рационально [19]. Увеличение расхода охлаждающего газа происходит за счет увеличения напора, создаваемого вентилятором. Так как плотная компоновка турбогенератора практически не дает возможности изменить размеры вентилятора, то увеличение напора связано со спрямлением (уменьшение закрутки) потока водорода за вентилятором в случае вытяжной вентиляции или перед ним в случае нагнетательной вентиляции с помощью установки направляющих аппаратов.

В машинах с воздушным охлаждением (гидрогенераторы и крупные двигатели) используется увеличение расхода охлаждающего газа за счет установки дополнительных нагнетательных элементов на явнополюсном роторе и уменьшение рециркуляции воздуха около вентилятора путем установки диффузоров или уменьшения зазора между диффузором и вентилятором.

Модернизация узла токосъема (контактные кольца-щетки). Работы ведутся по следующим направлениям: для высокоскоростных электрических машин устанавливаются контактные кольца из термообработанной стали с высокой твердостью (НВ=3000); нарезаются винтовые канавки на внешней поверхности колец для улучшения динамической стойкости щеток, уменьшения износа щеток и колец, более равномерного распределения тока между щетками; заменяется миканитовая изоляция втулки контактных колец на стеклоизоляцию (в частности, на стеклотекстолит) для увеличения монолитности узла контактных колец; заменяются спиральные пружины из стальной проволоки на рулонные пружины постоянного давления; изолируются щеткодержатели от траверсы, а щетки — от нажимной пружины для исключения подгаров и оплавления обоймы, а также перегрева пружины, вызванных токами, протекающими по пружине и самой обойме.

Кардинальным решением вопроса по узлу токосъема является переход к системе бесщеточного (бесконтактного) возбуждения.

Контрольные вопросы

1. Каковы преимущества модернизации по сравнению с заменой на новые электрические машины?
2. Всегда ли целесообразна модернизация? Каковы критерии целесообразности?
3. За счет применения каких мероприятий может быть увеличен КПД машины?
4. В чем преимущества термореактивной изоляции по сравнению с компаундированной?
5. За счет каких мероприятий можно увеличить мощность электрических машин при модернизации?

ГЛАВА 15
РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ РЕМОНТЕ

Содержание и объем расчетов, выполняемых при ремонте трансформаторов, определяются характером ремонта и наличием паспортных данных. Приведена последовательность поверочного расчета при восстановительном ремонте, а также порядок расчета трансформатора при отсутствии паспортных и обмоточных данных. Рассмотрены пути модернизации трансформаторов, связанные с увеличением его мощности.

§ 15.1. Объем расчета при капитальном ремонте с заменой обмоток

При восстановительном ремонте с заменой обмоток и наличии паспорта и типовой расчетной записки ремонт производят без каких-либо расчетов по старым обмоточным данным (при использовании старого провода или нового тех же размеров). При повторном ремонте поверочные расчеты необходимы, чтобы убедиться в правильности расчета при предыдущем ремонте. Увеличение потерь холостого хода и намагничивающей мощности, связанное с перешихтовкой верхнего ярма или полной разборкой магнитной системы, учитывается при поверочном расчете параметров холостого хода.

Если при ремонте изменяют размеры провода, то производят полный расчет обмоток, а также поверочный расчет напряжения и потерь короткого замыкания.

В ряде случаев необходимо изменить конструкцию обмоток, а также магнитную индукцию в сердечнике и плотность тока в обмотках. При этом для выбранного типа обмоток и принятой конструкции изоляции производят полный электромагнитный расчет, а также поверочный расчет параметров холостого хода.

При отсутствии обмоточных данных и тем более паспортной таблички (щитка) указанные выше расчеты проводят обязательно (при этом иногда мощность и напряжение трансформатора неизвестны). В этом случае основанием для расчета

служат тщательные замеры магнитной системы, обмоток, бака и других частей трансформатора, подлежащего ремонту.

При модернизации, когда изменяют параметры трансформатора и соответственно отдельные конструктивные элементы, производят полный расчет (как до модернизации, так и после нее), чтобы можно было сравнить новый вариант с заменяемым.

Однако при любом виде ремонтных работ стремятся сохранить значение индукции в магнитной системе, близкое к заводскому, и обеспечить соответствие основных параметров трансформатора требованиям стандарта (или технических условий).

§ 15.2. Порядок поверочного расчета при восстановительном ремонте

Определение основных размеров. По результатам измерений при осмотре активной части трансформатора составляют эскиз магнитной системы, на котором указываются ее основные раз-

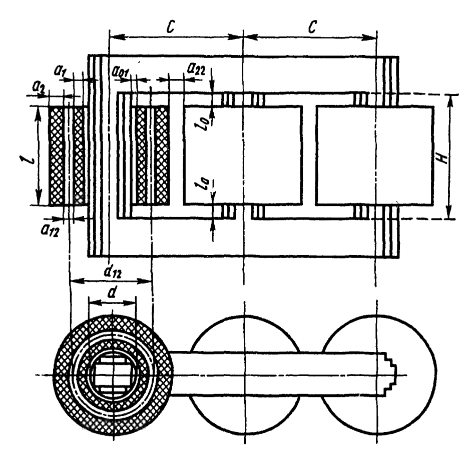


Рис. 15.1. Эскиз магнитной системы трансформатора и обмоток

меры (рис. 15.1). Расстояние между осями стержней C определяется

для трехфазной плоской магнитной системы

$$C=(l_{яр}-a_{с})/2, \quad (15.1)$$

для однофазной —

$$C = l_{яр} - a_с, \qquad (15.2)$$

где $l_{яр}$ — длина ярма; $a_с$ — ширина средней (основной) ступени сечения стержня.

Высота окна H (длина стержня) равна расстоянию между внутренними плоскостями верхнего и нижнего ярем в свету.

Для проверки измеренного диаметра стержня d производят его вычисление

$$d = \sqrt{a_с^2 + b_с^2}, \qquad (15.3)$$

где $b_с$ — толщина основного среднего пакета.

Полная площадь ступенчатого сечения стержня $П_ф$ является суммой сечений пакетов пластин. Активное сечение стали стержня

$$П_с = k_з П_ф, \qquad (15.4)$$

где $k_з$ — коэффициент заполнения ступенчатой фигуры чистой сталью (без изоляции); в зависимости от марки стали и типа изоляционного покрытия для холоднокатаной стали $k_з = 0{,}93 \div 0{,}97$.

При переизолировке стали учитывается уменьшение активного сечения на 2—3%. Полученное значение $П_с$ можно проверить по формуле

$$П_с = \frac{\pi d^2}{4} k_з k_{кр}, \qquad (15.5)$$

где $k_{кр}$ — коэффициент заполнения площади круга с диаметром d площадью ступенчатой фигуры; для 5—6 ступеней $k_{кр} \approx 0{,}915$.

Сечение ярма определяют аналогично.

Полученные при измерениях размеры провода в трансформаторах отечественного производства сравнивают со стандартными.

При наличии паспортных и обмоточных данных трансформатора и использовании старого провода (или нового тех же размеров) восстановление трансформатора не вызывает затруднений.

При поверочном расчете параметров холостого хода определяют индукцию в стержне магнитной системы

$$B_с = u_в / (4{,}44 f П_с), \qquad (15.6)$$

где $u_в = U_ф / w$ — ЭДС витка.

Чтобы убедиться в правильности расчета, полученное значение индукции сравнивают с рекомендуемыми для холоднокатаной стали (1,5—1,65 Тл) в трансформаторах I—IV габари-

тов. Индукция в ярме $B_я$ определяется аналогично (при использовании в формуле для $B_с$ сечения ярма $П_я$).

Расчет потерь холостого хода при известных индукции и массе элементов магнитной системы и способе шихтовки (косые, прямые или комбинированные стыки) выполняется по общепринятой методике[1]. Увеличение потерь вследствие перешихтовки верхнего ярма учитывается коэффициентом $k_д=1,05\div1,1$. При полной перешихтовке магнитной системы $k_д=1,2\div1,25$. Аналогично, влияние перешихтовки учитывается при расчете намагничивающей мощности.

Полученные при расчете значения потерь и тока холостого хода сравнивают с нормируемыми (по стандарту или техническим условиям).

Порядок расчета при ремонте по паспортным данным (обмоточные данные отсутствуют). В основу расчета должны быть положены следующие требования: обеспечение электрической прочности изоляции; обеспечение параметров холостого хода и короткого замыкания в соответствии с требованиями нормативных документов; обеспечение технических требований заказчика.

Расчет проводится по общепринятой методике. После определения основных размеров магнитной системы, по паспортным данным рассчитывают основные электрические величины (линейные и фазные токи и напряжения обмоток НН и ВН). Выбор индукции в стержне производят в соответствии с данными выше рекомендациями.

Следует иметь в виду, что завышение магнитной индукции приводит к увеличению потерь и тока холостого хода, а занижение — к затруднениям при размещении обмоток (при большем числе витков) в заданных размерах магнитной системы.

Проводится поверочный расчет параметров холостого хода.

Определяют ЭДС одного витка

$$u_в=4{,}44fB_сП_с. \qquad (15.7)$$

После определения чисел витков в обмотках НН и ВН производят выбор типа обмоток (цилиндрические, винтовые, непрерывные) по мощности, току, напряжению обмотки и сечению витка.

Сечение витка обмоток определяют либо по рекомендуемой плотности тока $\Delta_{ср}$ (А/м²), либо рассчитывают по заданным потерям короткого замыкания по формулам:

для медных обмоток

$$\Delta_{ср}=0{,}746k\frac{P_к u_в}{Sd_{12}}10^4, \qquad (15.8)$$

[1] См. [23].

для алюминиевых обмоток

$$\Delta_{ср}' = 0{,}463k \frac{P_к u_в}{S d_{12}} 10^4. \qquad (15.9)$$

Здесь k — коэффициент, учитывающий наличие добавочных потерь в обмотках, потери в отводах, стенках бака и т. д. (для трансформаторов мощностью до 100 кВ·А $k=0{,}97$, мощностью 160—1000 кВ·А — 0,96—0,91); $P_к$ — потери короткого замыкания, Вт; S — номинальная мощность, кВ·А; $d_{12}=ad$ — средний диаметр канала обмоток НН и ВН, м; $a=1{,}38\div1{,}30$ для обмоток из меди (для обмоток из алюминия — $a=1{,}46\div1{,}48$).

По испытательным напряжениям обмоток производят выбор изоляционных расстояний и геометрии изоляционных промежутков. После выбора типа обмоток и изоляции проводят расчет обмоток, размещая их на стержне (с учетом заданных размеров магнитной системы). Осевой размер обмоток принимают равным $H-2l_0$ (где l_0 — расстояние от торца обмотки ВН до ярма при отсутствии прессующих колец). Осевые размеры обмоток ВН и НН принимают равными. После размещения (раскладки) обмоток определяют их внутренние и наружные диаметры и размеры в осевом и радиальном направлениях.

Проверка возможности размещения обмоток в окне магнитной системы сводится к сопоставлению рассчитанного промежутка между обмотками соседних фаз L с выбранным междуфазным изоляционным расстоянием a_{22} ($L=C-D_{нар\,вн}\geqslant a_{22}$) и расстоянием до ярма $h=1/2(H-l_{обм})\geqslant l_0$.

Рассчитывают массу обмоток и вычисляют потери и напряжение короткого замыкания, сравнивая их с нормированными значениями, при отклонении от которых (более чем на 5%) можно несколько изменить размеры изоляционного расстояния между обмотками a_{12} (только в сторону увеличения) или высоту обмоток (если позволяют размеры изоляции и окна магнитной системы), или изменить ЭДС одного витка (и число витков). Эти изменения требуют повторного расчета.

Тепловой расчет обмоток, как правило, выполняется в сокращенном виде. Проверяется плотность теплового потока на поверхности обмотки q (потери в обмотке, отнесенные к единице поверхности охлаждения). Для трансформаторов мощностью 100—1000 кВ·А должно выполняться условие $q\leqslant 1000\div1200$ Вт/м².

§ 15.3. Расчет трансформатора при отсутствии паспортных и обмоточных данных

Определение параметров трансформатора, в частности его мощности, можно произвести по известным размерам магнитной системы. Магнитная система является основой конструк-

ции трансформатора. Выбор основных ее размеров совместно с размерами обмоток определяет главные размеры активной части и всего трансформатора.

Диаметр стержня d (см. рис. 15.1) является одним из основных размеров трансформатора. Основываясь на законе геометрического подобия, связывающего мощность трансформатора с его линейными размерами, можно найти связь между диаметром стержня d и мощностью S' (кВ·А) одного стержня:

$$d = 0{,}507\sqrt[4]{S' a_p \beta k_p / (f u_p B_c^2 k_c^2)}.$$

Приведенная ширина двух обмоток (м) достаточно точно определяется по формуле

$$\frac{a_1 + a_2}{3} = k\sqrt[4]{S'}\cdot 10^{-2}.$$

Для трансформаторов мощностью 100—1000 кВ·А с медными обмотками $K = 0{,}6$ (для алюминиевых обмоток $K = 0{,}75$).

Радиальный размер обмотки НН a_1 (ближайшей к стержню) для этих трансформаторов приближенно определяют из соотношения

$$a_1 \approx 1{,}1\frac{a_1 + a_2}{3}, \qquad (15.10)$$

откуда $a_1 \approx 0{,}58a_2$.

Радиальный размер наружной обмотки (ВН) a_2 ориентировочно можно определить по формуле

$$2a_2 = bd, \qquad (15.11)$$

где коэффициент b для трансформаторов с обмотками из меди принимается равным 0,4 (для обмоток из алюминия $b = 0{,}5$).

Таким образом,

$$(a_1 + a_2)/3 = (0{,}58a_2 + a_2)/3 = 0{,}105d. \qquad (15.12)$$

Следовательно, мощность одного стержня

$$S' = (0{,}185d)^4 \cdot 10^4. \qquad (15.13)$$

Мощность трехфазного трансформатора $S = 3S'$.

Полученное приближенное значение мощности необходимо округлить до ближайшего стандартного. Далее для заданных номинальных напряжений обмоток (с учетом схемы соединения) определяют основные электрические величины.

В соответствии с классом напряжения и испытательными напряжениями обмоток выбирают основные изоляционные промежутки и конструкцию изоляции: по испытательному напряжению обмотки НН — расстояние a_{01} (от обмотки до стержня), расстояние a_{12} (между обмотками НН и ВН) — по испытатель-

ному напряжению обмотки ВН, принимают осевые размеры обмоток одинаковыми и расстояние l_0 в торцовой зоне (от обмотки до верхнего и нижнего ярем) определяют по испытательному напряжению обмотки ВН, расстояние между обмотками соседних фаз a_{22} — по испытательному напряжению обмотки ВН.

Для расчета сечения витка предварительно задаются плотностью тока — для меди в обмотке НН $\Delta_1 \leqslant 4{,}0 \cdot 10^6$ А/м², в обмотке ВН — $\Delta_2 \leqslant 3{,}5 \cdot 10^6$ А/м².

Повышение плотности тока сверх указанных пределов связано с увеличением потерь короткого замыкания (следовательно, и с повышенным нагревом обмоток). Заниженная плотность тока влечет за собой недостаточное использование сечения витка, увеличение массы обмоток, а в некоторых случаях приводит к тому, что нужное число витков оказывается невозможно разместить в заданных размерах магнитопровода.

Приемлемость предварительно выбранных сечений может быть установлена лишь на последнем этапе расчета — при расчете потерь и удельной тепловой нагрузки[1] обмоток q.

Пересчет обмоток на другое напряжение. Повышение номинального напряжения трансформатора неосуществимо без реконструкции обмоток. Изоляция обмоток более высокого класса напряжения обеспечивается в основном за счет увеличения изоляционных промежутков. Из сопоставления конструкции изоляции для классов напряжения 3, 6, 10 кВ видно, что размеры промежутков и их строение одинаковы. Поэтому при повышении напряжения в этих пределах не требуется изменения мощности.

Переход на напряжение 35 кВ неизбежно должен сопровождаться снижением мощности трансформатора, так как изоляционные расстояния необходимо увеличить.

При необходимости пересчета обмоток на другое напряжение следует учесть, что в современных проектируемых сериях предпочтение отдается многослойным цилиндрическим обмоткам. Широкое применение обмоток этого типа в качестве обмоток ВН и НН обусловлено возможностью обеспечить более плотное заполнение окна магнитной системы, использовать более эффективную теплоотдачу от обмотки к маслу в вертикальных каналах, а также получить более технологичную конструкцию. Кроме того, обмотка этого типа при воздействии импульсных перенапряжений имеет более высокую электрическую прочность по сравнению с катушечными обмотками.

Особенности расчета трансформаторов с алюминиевыми обмотками. Анализ трансформаторов с медными и алюминиевыми обмотками показал, что при сохранении потерь короткого

---

[1] Последовательность расчета в этом случае должна соответствовать приведенной в [9, 26].

замыкания мощность трансформатора с алюминиевыми обмотками должна быть снижена примерно в 1,27 раза. При этом напряжение короткого замыкания, отнесенное к этой (сниженной) мощности, уменьшается примерно на 20% (при уменьшении массы металла обмоток в 3,3 раза и снижении механической прочности в 2,5 раза).

Рационально спроектированные трансформаторы с алюминиевыми обмотками существенно отличаются по соотношению основных размеров от равных им по мощности и параметрам холостого хода и короткого замыкания трансформаторов с медными обмотками. Отличительными особенностями магнитной системы с алюминиевыми обмотками являются меньший диаметр, большая высота стержней и площадь окна магнитной системы.

При ремонте (и модернизации) трансформатора приходится иметь дело с готовой магнитной системой и баком. Поэтому замена меди на алюминий (или обратно) с получением при этом заданных параметров не всегда возможна. В каждом конкретном случае задача должна решаться на основе соответствующего технико-экономического обоснования.

§ 15.4. Модернизация трансформаторов

Наибольшие трудности возникают при необходимости повышения мощности трансформатора. Такие требования наиболее часто предъявляются к трансформаторам специального назначения, например, предназначенным для питания мощных электропечей (если мощность трансформатора стала недостаточна по отношению к возросшим производственным возможностям питаемых ими электропечей). Повышение мощности при существующих габаритах возможно за счет лучшего использования магнитной системы (повышения индукции), лучшего использования окна магнитной системы, более эффективного охлаждения и совместного использования этих факторов.

Увеличение мощности за счет повышения магнитной индукции практически исключено, так как на заводах-изготовителях, как правило, выбирают предельное значение индукции.

Наиболее распространено при модернизации увеличение мощности за счет размещения в тех же размерах большей массы металла обмоток и(или) более эффективной системы охлаждения. Использование первого из этих факторов (при необходимости сохранения магнитной индукции и электрической прочности) требует нахождения решения, принципиально отличающегося от заводского. Примером может служить замена в электропечных трансформаторах чередующихся обмоток на концентрические и выполнения обмотки НН наружной, что в ряде случаев позволяет повысить мощность более чем в 1,5 раза.

Один из возможных способов увеличения мощности (в старых габаритах) состоит в переходе на меньшие испытательные напряжения промышленной частоты и облегчении вследствие этого конструкции главной и продольной изоляции. Это возможно также при использовании магнитной системы трансформатора старых выпусков. Снижение испытательного напряжения возможно при использовании более эффективной защитной аппаратуры.

Увеличение мощности приводит, однако, и к увеличению электрических потерь, что может, в свою очередь, вызвать необходимость замены системы охлаждения на более эффективную (например, естественной масляной на циркуляционную с водяным или воздушным охлаждением). Применение более эффективной системы охлаждения позволяет решить задачу некоторого повышения мощности трансформатора без каких-либо других переделок, если обеспечена термическая стойкость трансформатора (т. е. допустимые температуры обмоток и масла).

В ряде случаев эффективность охлаждения повышается при использовании специальных конструктивных решений, обеспечивающих направленное движение масла (непосредственно в обмотки).

Контрольные вопросы

1. Чем определяются содержание и объем расчетов при ремонте трансформаторов?
2. Какие основные размеры магнитной системы необходимо определить для составления ее эскиза и последующих расчетов?
3. Какие значения индукции в стержне магнитной системы рекомендуются для холоднокатаной стали?
4. Какими принимают предельные значения плотности теплового потока на поверхности обмотки при поверочном расчете?
5. Каким образом можно определить приближенное значение мощности ремонтируемого трансформатора по известным геометрическим размерам?
6. За счет каких мероприятий возможно повышение мощности при ремонте трансформатора?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постоянный рост уровня электрификации всех отраслей народного хозяйства повышает требования к надежности электрических машин и трансформаторов. Надежность зависит как от конструкции и добротности изготовления, так и от правильного применения, обслуживания, качественного ремонта.

В предлагаемом учебном пособии рассмотрены вопросы, которыми должен заниматься инженер на промышленном предприятии при выборе электрических машин, их хранении, монтаже, обслуживании и ремонте. Многообразие условий работы машин, областей их использования и конкретных условий на каждом предприятии требует от персонала творческого подхода к решению каждого вопроса, грамотных технических решений и качественного их исполнения.

Система ППР должна разрабатываться с учетом особенностей и возможностей каждого предприятия. При этом необходимо учитывать предыдущий опыт работы.

Электрические машины и трансформаторы выпускаются сериями и от серии к серии совершенствуются, изменяются их конструкция и технология изготовления, повышаются требования к деталям, сборочным единицам и изделию в целом. Инженер, занимающийся эксплуатацией и ремонтом электрических машин, должен хорошо знать систему управления и схемы регулирования электротехническими изделиями.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЭКСПЛУАТАЦИЮ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Электроустановка — установка, которая вырабатывает, преобразует, распределяет или потребляет электрическую энергию. Электрические машины являются частью электроустановок.

Безотказность — свойство электроустановки непрерывно (без вынужденных перерывов) сохранять работоспособность.

Отказ — событие, заключающееся в нарушение работоспособности. Условно (по признакам) отказы можно разделить на внезапные и постепенные, зависимые и независимые, полные и частичные.

Авария — нарушение нормального режима работы в результате внезапного отказа, вызывающее повреждение основного оборудования и необходимость проведения внеочередного капитального ремонта или необходимость отключения оборудования на срок более 8 ч.

Гарантийный срок — период времени, в течение которого завод-изготовитель или организация, проводившая ремонт, безвозмездно устраняет неисправности, если соблюдаются правила эксплуатации электрической машины.

Долговечность — свойство электрической машины сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Предельное состояние определяется невозможностью дальнейшей эксплуатации машины из-за непоправимого изменения заданных параметров и снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой.

Работоспособность — состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значение параметров в пределах, оговоренных в нормативно-технической документации.

Срок службы — календарная продолжительность работы электрической машины от определенного момента времени до наступления предельного состояния (до списания).

Ресурс — то же, что срок службы.

Наработка — продолжительность или объем работы, выполненный электрической машиной.

Ремонт — экономически оправданный комплекс работ для восстановления работоспособности объекта путем замены изношенных и отказавших элементов, наладка и регулирование параметров электроустановки с доведением их до пределов (значений), предусмотренных техническими условиями.

Межремонтный период — наработка между двумя плановыми ремонтами, выраженная в месяцах.

Межосмотровый период — наработка между двумя плановыми осмотрами, регламентированными соответствующими ПТЭ и ПТБ, эксплуатационными инструкциями заводов-изготовителей и выраженная в месяцах.

Ремонтопригодность — состояние электрической машины, при котором можно устранять повреждения и восстанавливать ее технические параметры путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Модернизация — приведение характеристик находящихся в эксплуатации электрических машин в соответствие с современными требованиями и улучшение их технических характеристик путем внедрения частичных изменений и усовершенствований в конструкцию и схему машин.

Надежность — свойство электрических машин выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные свойства в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени.

Неисправность — состояние электрической машины, при котором она не соответствует одному из технических требований.

Наработка на отказ — средняя продолжительность работы между отказами, выраженная обычно в часах.

Время безотказной работы — среднее число часов работы до первого отказа, которое определяется по формуле

$$T_{ср} = \sum_{i=1}^{n} t_i/n, \qquad (П.1)$$

где t_i — наработка до первого отказа i-й электрической машины; n — общее число рассматриваемых машин (парк машин).

Вероятность безотказной работы (ВБР) рассчитывается по формуле

$$P(t) = (N_0 - \Delta N)/N_0, \qquad (П.2)$$

где ΔN — число отказавших электрических машин за время t; N_0 — число рассматриваемых машин в начальный период времени ($t=0$).

Под ВБР понимается, что в заданном интервале времени (или в пределах заданной наработки) машина работает без отказа.

Интенсивность отказов — вероятность отказа неремонтируемой машины в единицу времени; определяется по формуле

$$\lambda(t) = \Delta N/(N_0 \Delta t), \qquad (П.3)$$

где Δt — интервал наблюдения (обычно измеряется в часах).

Резервирование — метод повышения надежности объекта введением избыточности, т. е. дополнительных средств и возможностей сверх минимально требуемых для выполнения объектом заданных функций. Различают холодный и горячий резерв, а также нагруженный, облегченный и ненагруженный.

Для большинства неремонтируемых электрических машин в качестве показателя надежности принимаются ВБР и(или) средний срок службы; для ремонтируемых — ВБР и(или) наработка на отказ.

Ж3	Закрытые или другие помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха существенно меньше, чем на открытом воздухе, расположенные в районах с тропическим климатом	+50	−50	95% при $T \leqslant 35°C$ без конденсации влаги	Наличие плесневых или дереворазрушающих грибов
ОЖ1	Открытые площадки в любых климатических районах, в том числе в районах с тропическим климатом	+60	То же, что для группы Ж1	100% при $T \leqslant 35°C$ с конденсацией влаги	Солнечная радиация 1125 Вт/м², интенсивность дождя до 5 мм/мин, наличие пыли и плесневых или дереворазрушающих грибов
ОЖ2	Навесы или помещения, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, расположенные в любых климатических районах, в том	+60	То же, что для группы Ж1	То же, что для группы ОЖ1	Наличие пыли и плесневых или дереворазрушающих грибов

Ж3	Закрытые или другие помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха существенно меньше, чем на открытом воздухе, расположенные в районах с тропическим климатом	+50	−50	95% при $T \leqslant 35°C$ без конденсации влаги	Наличие плесневых или дереворазрушающих грибов
ОЖ1	Открытые площадки в любых климатических районах, в том числе в районах с тропическим климатом	+60	То же, что для группы Ж1	100% при $T \leqslant 35°C$ с конденсацией влаги	Солнечная радиация 1125 Вт/м², интенсивность дождя до 5 мм/мин, наличие пыли и плесневых или дереворазрушающих грибов
ОЖ2	Навесы или помещения, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, расположенные в любых климатических районах, в том	+60	То же, что для группы Ж1	То же, что для группы ОЖ1	Наличие пыли и плесневых или дереворазрушающих грибов

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. НОРМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Исполнение	Категория размещения	Значение температуры воздуха при эксплуатации, °С *		
		верхнее	нижнее	среднее
У	1, 2, 3	+40/+45	—45/—50	+10
	5	+35	—5	+10
Т	1, 2, 3	+45/+55	—10	+27
	5	+35	+1	+10
О	1, 2	+45/+55	—60	+27
	4	+45/+55	+1	+27
	5	+35	—10	+10
ОМ	1, 2, 3, 5	+45	—40	+27
	4	+45	—10	+27
В	1, 2, 3	+45/+55	—60	+27
	4	+45/+55	—10	+27
	5	+45	—40	+27

* В числителе — рабочее значение, в знаменателе — предельное рабочее.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ХАРАКТЕРИСТИКА УКРУПНЕННЫХ КАТЕГОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ

Обозначение	Характеристика
1	Для эксплуатации на открытом воздухе
2	Для эксплуатации под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха (отсутствует прямое воздействие солнечного излучения и атмосферных осадков)
3	Для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственного регулирования климатических условий, где воздействие песка и пыли и колебания температуры н влажности воздуха существенно меньше, чем на открытом воздухе
4	Для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями (в том числе хорошо вентилируемые подземные помещения)
5	Для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ХАРАКТЕРИСТИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ СРЕДЫ

Окружающая среда		Содержание коррозионно-активных агентов, мг/(м²·сут)	
Обозначение	Наименование	Сернистый газ	Хлориды
I	Условно-чистая	До 20	Менее 0,3
II	Промышленная	20—110	Менее 0,3
III	Морская	До 20	30—300
IV	Приморско-промышленная	20—110	0,3—30

ПРИЛОЖЕНИЕ 6. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОН

Класс зоны	Условия, определяющие класс зоны
П-I	Зоны в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°С
П-II	Зоны в помещениях, в которых выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м³ к объему воздуха
П-IIа	Зоны в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества
П-III	Вне помещений зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°С или твердые горючие вещества

ПРИЛОЖЕНИЕ 7. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН

Класс зоны	Условия, определяющие класс зоны
В-I	Зоны в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы
В-Iа	Зоны в помещениях, в которых опасные состояния, характерные для зон класса В-I, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей
В-Iб	То же, что и для В-Iа, но отличающиеся одной из следующих особенностей: горючие газы обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (1% и более) и резким запахом; помещения производств, связанных с газообразным водородом, в которых исключается образование

Класс зоны	Условия, определяющие класс зоны
	взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения; зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в зоне, превышающей 5% свободного объема помещения, причем работа проводится без применения открытого пламени
В-Iг	Пространства у наружных установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ
В-II	Зоны в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы
В-IIа	Зоны в помещениях, в которых опасные состояния, характерные для зон класса В-II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей

ПРИЛОЖЕНИЕ 8. **УРОВЕНЬ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ**

Класс взрывоопасной зоны	Уровень защиты
В-I	Взрывобезопасные
В-Iа, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее 1Р44
В-II	Взрывобезопасное
В-IIа	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты 1Р54

ПРИЛОЖЕНИЕ 9. **ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ РАБОЧЕГО ЦИКЛА И МЕЖРЕМОНТНОГО ПЕРИОДА**

Условия работы электрических машин	$T_{табл}$, лет	$t_{табл}$, мес
Сухие помещения ($K_с=0{,}25$)	12	12
Горячие гальванические, химические цехи ($K_с=0{,}45$)	4	6
Загрязненные участки — деревообрабатывающие, сухой шлифовки и др. ($K_с=0{,}25$)	6	8
Длительные циклы непрерывной работы с высокой степенью загрузки — приводы насосов, вентиляторов, компрессоров, кондиционеров и др. ($K_с=0{,}75$)	9	9

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Антонов М. В., Герасимова Л. С.* Технология производства электрических машин. — М.: Энергоиздат, 1982.

2. *Аншин В. Ш., Худяков З. И.* Сборка трансформаторов и их магнитных систем. — М.: Высшая школа, 1985.

3. *Герасимова Л. С., Дайнега И. А.* Технология и оборудование производства трансформаторов. — М.: Энергия, 1972.

4. *Каганович Е. А., Райхлин И. М.* Испытания трансформаторов мощностью до 6300 кВ·А и напряжением до 35 кВ. — М.: Энергия, 1980.

5. *Липштейн Р. А., Шахнович М. И.* Трансформаторное масло. — М.: Энергоатомиздат, 1983.

6. *Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.* Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

7. *Проектирование электрических машин* / Под ред. И. П. Копылова — М.: Энергия, 1980.

8. *Синягин Н. Н., Афанасьев Н. А., Новиков С. А.* Системы планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики. — М.: Энергоатомиздат, 1984.

9. *Тихомиров П. М.* Расчет трансформаторов. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

10. *Худяков З. И.* Ремонт трансформаторов. — М.: Высшая школа, 1982.

11. *Цирель Л. Я., Поляков В. С.* Эксплуатация силовых трансформаторов на электростанциях и в электросетях. — Л.: Энергоатомиздат, 1985.

Дополнительная

12. *Боднар В. В.* Нагрузочная способность силовых масляных трансформаторов. — М.: Энергоатомиздат, 1983.

13. *Гемке Р. Г.* Неисправности электрических машин. — Л.: Энергоатомиздат, 1989.

14. *Инструкция по эксплуатации трансформаторов* Минэнерго СССР. — М.: Энергия, 1978.

15. *Испытания мощных трансформаторов и реакторов / Г. В. Алексенко и др.* — М.: Энергия, 1974.

16. *Обмоточные данные асинхронных двигателей* / Под ред. *П. И. Цибулевского.* — М.: Энергия, 1971.

17. *Общесоюзные нормы технологического проектирования электроремонтных цехов машиностроительных предприятий.* — М.: Гипроэнергопром, 1976.

18. *Пястолов А. А., Райхлин И. М.* Ремонт трансформаторов I и II габаритов. — М.: Энергия, 1977.

19. *Сергеев П. С., Виноградов Н. В., Горяинов Ф. А.* Проектирование электрических машин. — М.: Энергия, 1969.

20. *Сибикин Ю. Д.* Эксплуатация и ремонт электрооборудования и сетей машиностроительных предприятий. — М.: Машиностроение, 1981.
21. *Справочник по автоматизированному электроприводу* / Под ред. *В. А. Елисеева, А. В. Шинянского.* — М.: Энергоатомиздат, 1983.
22. *Справочник по ремонту турбогенераторов* / Под ред. *А. И. Устинова.* — М.: Энергия, 1978.
23. *Справочник по ремонту крупных электродвигателей* / Под ред. *Р. И. Соколова* — М.: Энергоатомиздат, 1985.
24. *Справочник.* Асинхронные двигатели серии 4А / *А. Э. Кравчик и др.* — М.: Энергоиздат, 1982.
25. *Технология крупного электромашиностроения.* Т. 3. Крупные машины / *Д. М. Блюменкранц и др.* — Л.: Энергоиздат, 1981.
26. *Фарбман С. А.* и др. Ремонт и модернизация трансформаторов. — М.: Энергия, 1976.
27. *Филипишин В. Я., Туткевич А. С.* Монтаж силовых трансформаторов. — М.: Энергоиздат, 1981.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ III
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ РЕМОНТЕ